

VŠB- Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroniky

Zařízení pro měření celkové kapacity akumulátorů
Device for battery capacity measuring

2017

Tomáš Fišera

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroniky

Zadání bakalářské práce

Student:

Tomáš Fišera

Studijní program:

B2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

2612R003 Aplikovaná elektronika

Téma:

Zařízení pro měření celkové kapacity akumulátoru
Device for Battery Capacity Measuring

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rozbor možností měření kapacity jednotlivých typů akumulátorů.
2. Navrhněte a realizujte zařízení pro měření celkové kapacity 12V akumulátoru.
3. Ověřte funkčnost navrženého zařízení měřením kapacit akumulátorů dle pokynů vedoucího závěrečné práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

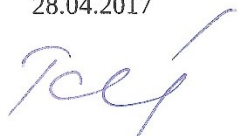
Dle pokynů vedoucího závěrečné práce.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

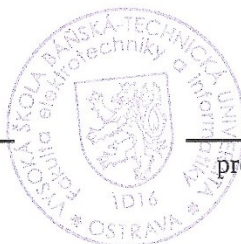
Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.**

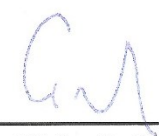
Datum zadání: 01.09.2016

Datum odevzdání: 28.04.2017



doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.
vedoucí katedry



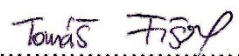


prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Všechny prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal, jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Dále také prohlašuji, že jsem sepsáním a zkonstruováním této práce neporušil autorská práva třetích stran.

V Ostravě dne 28.4.2017


.....
Tomáš Fišera

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval doc. Ing. Petru Paláckému za rady poskytnuté k dané konstrukci, a celkově za připomínky na stranu mé práce vedoucí k její lepší úrovni. Mé poděkování dále patří mému spolužákovi Martinu Kastlovi, jež mně naučil nutný základ týkající se programování použitého mikrokontroléru.

Abstrakt

Obsahem této práce je z větší části návrh a konstrukce zařízení pro měření kapacity akumulátorů. V první polovině práce jsou popsány vlastnosti jednotlivých typů akumulátorů a možnosti určení jejich aktuálního stavu. V další části je podrobně uveden návrh a popis vytvořené konstrukce, a to jak po stránce hardwarové, tak i po stránce programové. V neposlední řadě je součástí práce také měření kapacity pomocí zkonstruovaného zařízení a vyhodnocení naměřených dat, včetně porovnání s teoretickými předpoklady.

Klíčová slova

Akumulátor, aktivní zátěž, pulzní modulace, kapacita akumulátorů, typy akumulátorů, vybíjecí charakteristiky

Abstract

This task largely contents design and construction of device for battery capacity measurement. At first section there are described properties of different accumulator types and possibilities for determining a battery condition. The next part is dedicated to design and description of construction from hardware solution to program equipment. At last part is testing of constructed device and comparing measured data with teoretical.

Keywords

Accumulator, active load, pulse modulation, accumulator capacity, accumulator types, discharge characteristics

Obsah

1.	Seznam obrázků	1
2.	Seznam tabulek	1
3.	Seznam zkratk	2
4.	Úvod	3
5.	Akumulátory	4
5.1.	Typy akumulátorů	4
5.2.	Olověné akumulátory	4
5.3.	Nikl-Kadmiové akumulátory	5
5.4.	Nikl-metal hydridový akumulátor	7
5.5.	Lithium-iontové akumulátory	8
6.	Měření na akumulátorech	9
6.1.	Měření napětí naprázdno	9
6.2.	Měření vnitřního odporu	9
6.3.	Kapacitní zkouška	9
7.	Konstrukce měřiče kapacity akumulátorů	10
7.1.	Mikroprocesor AT89S51	11
7.2.	Zobrazovací jednotka	11
7.3.	PWM modulace	13
7.4.	Filtr	15
7.5.	Proudová zátěž	16
	Návrh chladiče	18
7.6.	Regulátor otáček ventilátoru	19
7.7.	A/D převodník	20
7.8.	Popis programu pro mikrokontrolér	22
8.	Návod k ovládání	24
9.	Měření kapacity pomocí sestaveného zařízení	25
9.1.	Měření akumulátoru Orema UN17-12	26
9.2.	Měření akumulátoru Orema UN8-12	29
10.	Závěr	31
11.	Použitá literatura	32
12.	Zdroje obrázků	33
13.	Přílohy	33
	Seznam příloh	33
	Obsah CD	33

1. Seznam obrázků

Obrázek 1 Vnitřní uspořádání olověného akumulátoru [12]	5
Obrázek 2 Vybíjecí charakteristiky NiCd akumulátoru [3]	6
Obrázek 3 Vnitřní uspořádání NiMH akumulátoru [13].....	7
Obrázek 4 Vybíjecí křivky Ni-Cd a Ni-MH článků velikosti AA [1].....	7
Obrázek 5 Závislost napětí 12V akumulátoru na zbytkové kapacitě [1]	9
Obrázek 6 Schéma pro měření vnitřního odporu [2]	9
Obrázek 7 Blokové schéma navrženého měřiče	10
Obrázek 8 Průběh řídicích napětí multiplexovaného displeje [14]	11
Obrázek 9 Průběhy proměnných U_p , U_d a úrovně pinu P3.0 při $U_d=30$ (střída 30%)	14
Obrázek 10 Průběhy proměnných U_p , U_d a úrovně pinu P3.0 při $U_d=85$ (střída 85%)	15
Obrázek 11 Zapojení filtru typu dolní propust.....	16
Obrázek 12 Zapojení elektronické zátěže	17
Obrázek 13 Znázornění struktury tepelných odporů pro výpočet chladiče	18
Obrázek 14 Zapojení regulátoru otáček ventilátoru [10]	19
Obrázek 15 Připojení odporového děliče k A/D převodníku [15]	20
Obrázek 16 Vývojový diagram popisující program pro mikroprocesor	23
Obrázek 17 Ovládací panel.....	24
Obrázek 18 Průběhy řídicích napětí a vybíjecího proudu.....	26
Obrázek 19 Vybíjecí charakteristika UN17-12 při vybíjecím proudu 1A	27
Obrázek 20 Vybíjecí charakteristika UN17-12 při vybíjecím proudu 3,5A	27
Obrázek 21 Orientační závislost kapacity akumulátoru Orema UN17-12 na jeho stáří [11]	28
Obrázek 22 Vybíjecí charakteristika akumulátoru UN8-12 při vybíjecím proudu 0,5A	29

2. Seznam tabulek

Tabulka 1 Registr interrupt enable.....	11
Tabulka 2 Konfigurace brány P2	12
Tabulka 3 Dekódovací tabulka převodníku 74LS47 [8].....	13
Tabulka 4 Nastavení bitů brány P2 pro zobrazení dané pozice displeje.....	13
Tabulka 5 Převod vypínacího napětí na odpovídající výstup A/D převodníku	21
Tabulka 6 Porovnání nastaveného a skutečného vybíjecího proudu	25
Tabulka 7a, 7b Výběr hodnot z vybíjecích charakteristik akumulátoru Orema UN17-12	28
Tabulka 8 Výběr hodnot z vybíjecí charakteristik akumulátoru Orema UN8-12	30

3. Seznam zkratek

$U_{\text{Ř}}$	řídící napětí proudového zdroje
T_{P}	perioda přerušení
f_{cp}	řídící kmitočet mikroprocesoru
PWM	pulzně modulovaný signál
n_{ins}	počet instrukcí
t_{ins}	doba trvání jedné instrukce
U_{d}	řídící signál pulzně modulovaného signálu
U_{p}	pilový signál pro tvorbu PWM
T_{PWM}	perioda pulzně modulovaného signálu
f_{PWM}	kmitočet pulzně modulovaného signálu
U_{CC}	napájecí napětí
U_{BAT}	napětí akumulátoru
$U_{\text{IN}(+)}$	vstupní napětí měřené A/D převodníkem
U_{off}	konečné vybíjecí napětí
$q_{\text{A/D}}$	kvantizační úroveň A/D převodníku
I_{NAST}	nastavená hodnota vybíjecího proudu
I_{SKUT}	změřená hodnota vybíjecího proudu
s	střída pulzně modulovaného signálu
ΔI	absolutní odchylka měřeného vybíjecího proudu
δI	relativní odchylka měřeného vybíjecího proudu
C_5	pětihodinová kapacita
C_{10}	desetihodinová kapacita
C_{20}	dvacetihodinová kapacita

4. Úvod

Pod pojmem akumulátor si každý může představit něco jiného. Akumulátory totiž nemusí být jen čistě elektrická záležitost, jelikož existují např. akumulátory tepelné či elektromagnetické energie. Proto je třeba hned ze začátku upřesnit, že se tato práce zabývá akumulátory elektrickými, zejména pak zjišťováním jejich kapacity. Pojem kapacita je taktéž v tomto případě zavádějící, neboť se jedná spíše o náboj akumulátorů. Jelikož je však pojem kapacita akumulátoru velmi rozšířený, budu i já tento pojem v rámci své práce používat.

Hlavním účelem této práce je sestavit zařízení schopné změřit kapacitu akumulátorů pomocí vybíjení plně nabitého akumulátoru až do poklesu napětí na předem definovanou úroveň, při kterém se vybíjení ukončí. Při konstrukci je však třeba znát teorii týkající se jednotlivých typů akumulátorů a možnosti určování jejich parametrů, proto je první část mé práce věnována právě teorii. V druhé části je řešen kompletní návrh požadovaného zařízení, včetně obvodového a programového řešení. V závěru jsou uvedeny výsledky měření, které proběhlo pomocí sestaveného zařízení.

5. Akumulátory

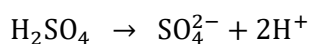
5.1. Typy akumulátorů

- Olověné – díky použitému elektrolytu, kterým je kyselina sírová, jsou také nazývány akumulátory kyselými
- nikl-kadmiové (Ni-Cd)
- nikl-železné (Ni-Fe)
- stříbro-zinkové (Ag-Zn)
- nikl-metalhydridové (Ni-MH)
- lithium-iontové (Li-Ion)
- lithium-polymerové (Li-Pol)

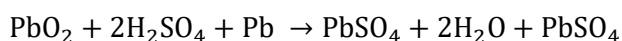
5.2. Olověné akumulátory

Tento typ je zřejmě nejpoužívanějším sekundárním elektrochemickým zdrojem. Vyrábí se v kapacitách od 1 do 10000Ah. Důvodem jejich rozšíření je velmi dobře zvládnutá technologie výroby, poměrně nízká pořizovací cena, provozní spolehlivost i dostatečný výkon při relativně dobré účinnosti. Celosvětová roční spotřeba olova na výrobu olověných akumulátorů se odhaduje na 2,5milionů tun, z čehož část pochází z recyklace vyřazených akumulátorů. Elektrolytem v olověných akumulátorech je kyselina sírová zředěná vodou, která disociuje na síranové ionty se záporným elektrickým nábojem a vodíkové ionty s kladným elektrickým nábojem. [1]

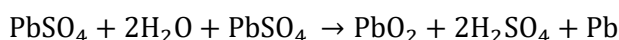
Proto je základní elektrochemická reakce v případě olověného článku:



Chemická reakce při vybíjení akumulátoru pak je:



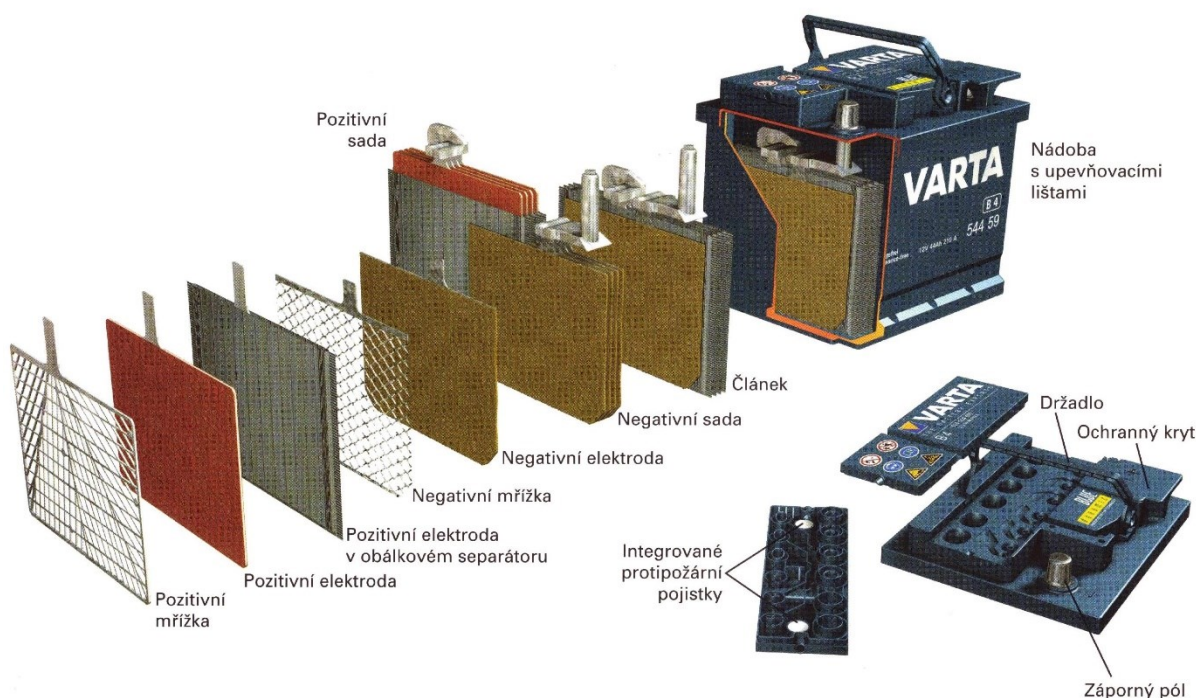
Při nabíjení pak probíhá chemická reakce v obráceném sledu, tedy:



Teoretické hodnoty týkající se tohoto typu jsou:

- Standardní rovnovážný potenciál kladné elektrody $E^0_k=1,685\text{V}$
- Standardní rovnovážný potenciál záporné elektrody $E^0_a=-0,35\text{V}$
- Standardní rovnovážné napětí článku je dáno vztahem
$$U^0_{\text{cl}} = E^0_k - E^0_a = 1,685 - (-0,35) = 2,035\text{V}$$

Z předchozího výpočtu tedy vychází teoretické standardní napětí jednoho článku 2,035V, z čehož plyne, že pro získání akumulátoru s vyšší jmenovitou hodnotou svorkového napětí je potřeba řadit články sériově. V případě 12V akumulátoru je tedy 6 jednotlivých článků v sérii. [5]

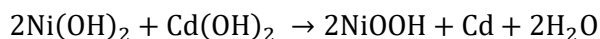


Obrázek 1 Vnitřní uspořádání olověného akumulátoru [12]

5.3. Nikl-Kadmiové akumulátory

Tyto typy akumulátorů mají značné výhody oproti olověným. Zejména se pak jedná o menší závislost kapacity na teplotě a vybíjecím proudu, možnost jejich ponechání ve vybitém stavu bez poškození nevratnou sulfací, vyšší odolnost proti přebíjení. Přes to všechno je podíl těchto akumulátorů v celosvětové výrobě přibližně 10%. Na vině je vysoká pořizovací cena vůči olověným akumulátorům a to 2-5násobek v případě nikl-kadmiových akumulátorů s kapsovými nebo trubkovými elektrodami a až 10 násobek ceny v případě nikl-kadmiových akumulátorů se sinitrovanými elektrodami. [5]

Elektrochemicky aktivní složkou kladné elektrody je ve vybitém stavu hydroxid nikelnatý, záporné elektrody hydroxid kademnatý. Elektrochemický děj při vybíjení je možno popsat pomocí následující rovnice: [3]



Kromě elektrochemicky aktivní složky obsahují elektrody i další materiály vytvářející vodivou složku, nosný skelet a proudový kolektor. Mezi elektrody jsou vloženy separátory oddělující záporné a kladné elektrody, a současně plní funkci nosiče elektrolytu. [3]

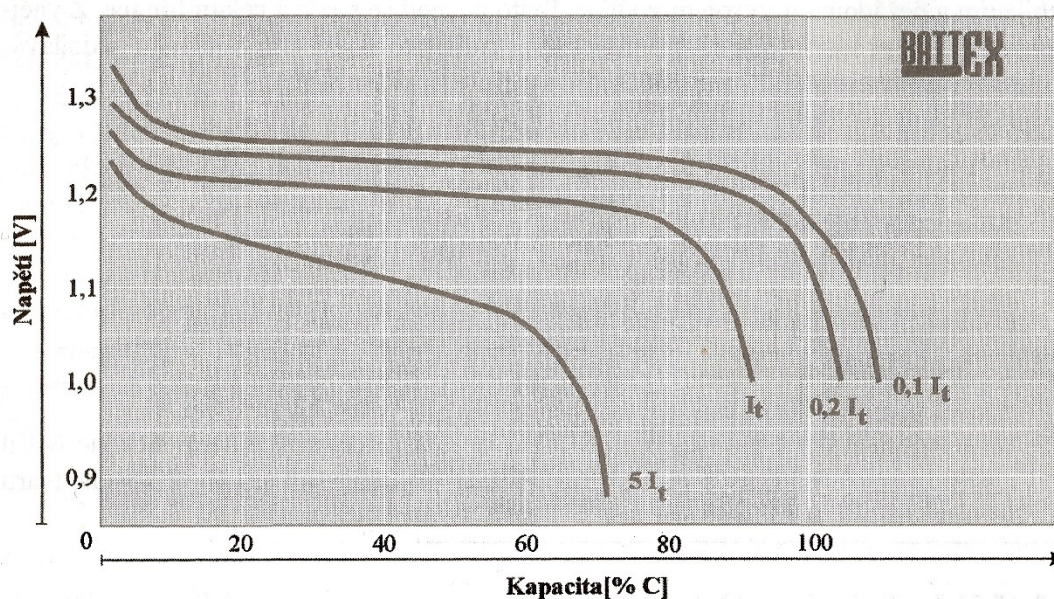
Hlavní předností těchto akumulátorů je poměrně malý pokles napětí v průběhu vybíjení, čímž tyto články dodávají téměř konstantní výkon do zátěže. Z vybíjecích křivek při různé velikosti vybíjecích proudů je zřejmé, že po mírném poklesu napětí po započatí vybíjení (hlavně menšími proudy) se napětí drží na téměř konstantní hodnotě, a to prakticky až do vyčerpání celé kapacity, poté už napětí velmi strmě klesá. [3] Vybíjecí charakteristiky jsou vyobrazeny na obr. 2.

Teoretické hodnoty pro Ni-Cd články

- standardní rovnovážný potenciál kladné elektrody NiOOH $E_k^0 = 0,49\text{V}$
- standardní rovnovážný potenciál záporné elektrody Cd $E_a^0 = -0,809\text{V}$
- standardní rovnovážné napětí článku je dáno vztahem

$$U_{cl}^0 = E_k^0 - E_a^0 = 0,49 - (-0,809) = 1,299\text{V}$$

Abychom tedy dostali akumulátor jmenovitého napětí 12V, musí být zařazeno 10 těchto článků do série (napětí 1,299 na článek je napětí naprázdno, po zatížení klesne na 1,2V). [5]



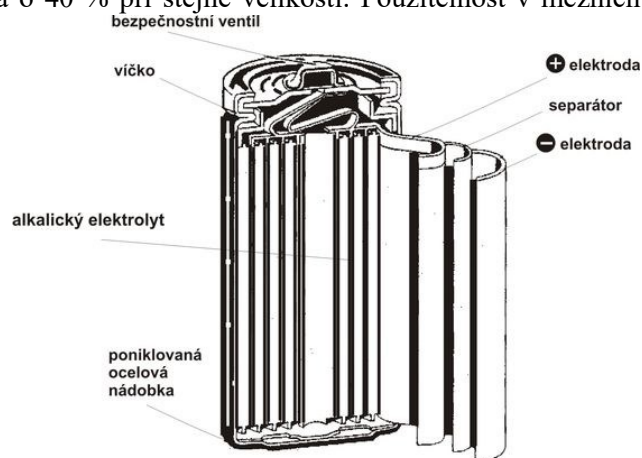
Obrázek 2 Vybíjecí charakteristiky NiCd akumulátoru [3]

Tyto akumulátory se smějí vybíjet maximálně do poklesu napětí nejslabších článků na tzv. konečné vybíjecí napětí, které je předepsané výrobcem akumulátoru pro určitý vybíjecí proud. Při jmenovitém vybíjecím proudu ($0,2C_5$ při teplotě 25°C) je obvykle udáváno konečné vybíjecí napětí 1V/článek. Při rostoucím vybíjecím proudu klesá konečné vybíjecí napětí. Pokud je akumulátor periodicky vybíjen pod hodnotu konečného vybíjecího napětí, dojde k jeho trvalému poškození. [5]

5.4. Nikl-metal hydridový akumulátor

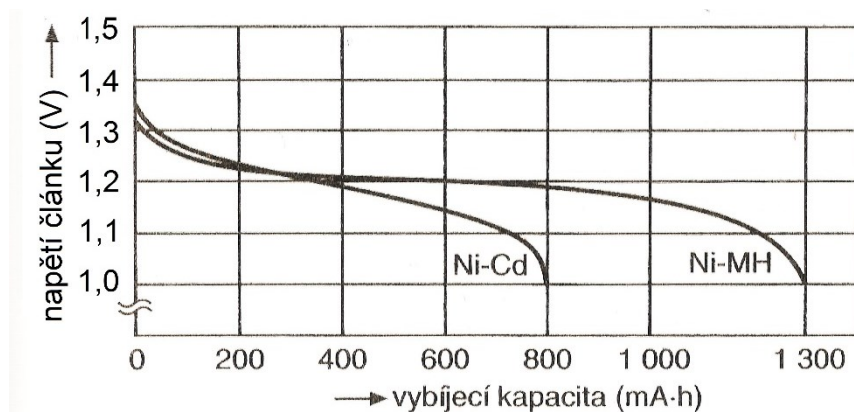
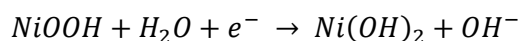
Vývoj těchto akumulátorů byl zahájen v 80. letech minulého století. Hlavním důvodem byl požadavek ekologů, aby se nahradilo škodlivé kadmium vhodnějším materiálem. [3] Jejich kapacita je oproti klasickým NiCd akumulátorům vyšší cca o 40 % při stejné velikosti. Použitelnost v mezních klimatických podmínkách je horší – zaručená funkce je maximálně do -10°C . U tohoto typu akumulátoru je omezená možnost vysokých vybíjecích proudů na zhruba dvojnásobek až trojnásobek kapacity. [6]

Kladná elektroda těchto akumulátorů je konstruována stejně a má i stejné složení aktivní hmoty, jako je tomu u kladné elektrody NiCd akumulátorů. Výsledkem je stejný elektrochemický děj probíhající při vybíjení. [3]



Obrázek 3 Vnitřní uspořádání NiMH akumulátoru [13]

Elektrochemický děj při vybíjení je popsán následující rovnicí:



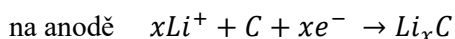
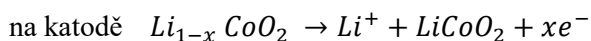
Obrázek 4 Vybíjecí křivky Ni-Cd a Ni-MH článků velikosti AA [1]

Z obr. 4 je zřejmé, že vybíjecí napěťová charakteristika Ni-MH článků je podobná jako u článku Ni-Cd s tím, že kapacita Ni-MH článku je téměř dvojnásobná (při stejných rozměrech baterie). [1]

5.5.Lithium-iontové akumulátory

Vyznačují se vysokou kapacitou, vysokou měrnou energií a velice nízkým samovybíjením. Jejich elektrody jsou vyrobeny ze sloučenin, které mohou do své krystalové mřížky přijmout cizí atom nebo molekulu. Lithium obsahují tyto články pouze v podobě iontů. Materiálem katody jsou sloučeniny LiCoO_2 , LiNiO_2 či LiMn_2O_4 . Materiálem anody je uhlíková matrice, která musí dobře přijímat ionty lithia. [1]

Uvažujeme-li Li-ion systém s katodou vyrobenou z LiCoO_2 a uhlíkovou anodou, tak probíhá při vybíjení elektrodová reakce:



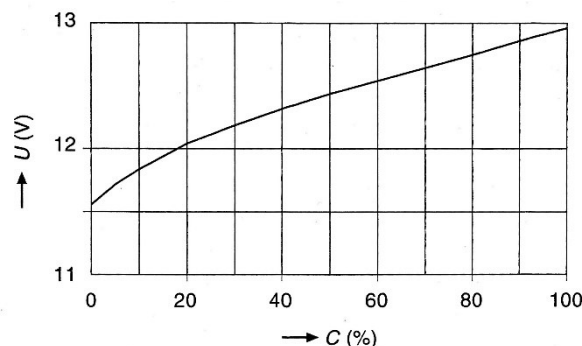
Při nabíjení se uvolňují z katody ionty Li^+ , které vnikají do anody, kde je část lithia nenávratně spotřebována uhlíkovou anodou. Proto se článek vyrábí s přebytkem katody, což však vede k nižší energetické hustotě článku. [1]

Vybíjecí charakteristiky jsou závislé na použité technologii výroby, zejména však na materiálu elektrod a separátoru. Články však lze vybíjet pouze do napětí 2,5V (jmenovité napětí nabitého článku však je 3,6V). [1]

6. Měření na akumulátorech

6.1. Měření napětí naprázdno

Napětí naprázdno U_0 se měří na nezatíženém článku nebo akumulátoru voltmetrem s velkým vnitřním odporem a s odpovídající přesností. [2]



Obrázek 5 Závislost napětí 12V akumulátoru na zbytkové kapacitě [1]

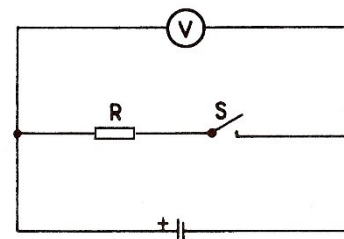
6.2. Měření vnitřního odporu

K měření vnitřního odporu je zapotřebí použít voltmetr s velkým vnitřním odporem, aby se zamezilo zatížení měřeného akumulátoru samotným voltmetrem, a to hlavně v případě malých akumulátorů. Nejprve se změří napětí naprázdno, poté bude sepnut spínač S a změří se svorkové napětí na zatíženém článku. Vnitřní odpor pak bude mít velikost:

$$R_v = \frac{R(U_0 - U)}{U}$$

kde R je zatěžovací odpor, U_0 napětí naprázdno a U napětí zatíženého článku. [2]

Vnitřní odpor článku či baterie však není konstantní. Zvyšuje se se stupněm vybití, s poklesem teploty, poklesem hustoty elektrolytu či stářím akumulátorů. [4]



Obrázek 6 Schéma pro měření vnitřního odporu [2]

6.3. Kapacitní zkouška

K těmto zkouškám se většinou přistupuje:

- po uvedení akumulátoru do činnosti
- po opravě akumulátoru
- ke zjištění aktuální kapacity za jeho provozu
- při revizích

U nových baterií, tzn. u baterií uskladněných podle předpisu výrobce do 60 dní od jejich výroby se zkouší kapacita takto: baterie se udržuje v teplotě $25 \pm 2^\circ\text{C}$. V případě za sucha nabitých baterií se naplní elektrolytem o teplotě taktéž $25 \pm 2^\circ\text{C}$ a měrné hmotnosti $1,28 \pm 0,01 \text{ kg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Po dvaceti minutách od naplnění elektrolytem se baterie vybíjí proudem $0,05 \cdot C_{20}$ (A), dokud napětí na pólových vývodech neklesne na hodnotu 10,5V. V hodinových intervalech se kontroluje napětí vybíjené baterie na pólových

vývodech, vybíjecí proud a teplota elektrolytu. V lepším případě se vše zaznamenává paměťovým osciloskopem. Ke konci vybíjení je potřeba zkrátit intervaly kontroly, neboť napětí akumulátoru po vyčerpání kapacity velmi prudce klesá. [5]

Výsledná kapacita je pak dle naměřených hodnot udána vztahem:

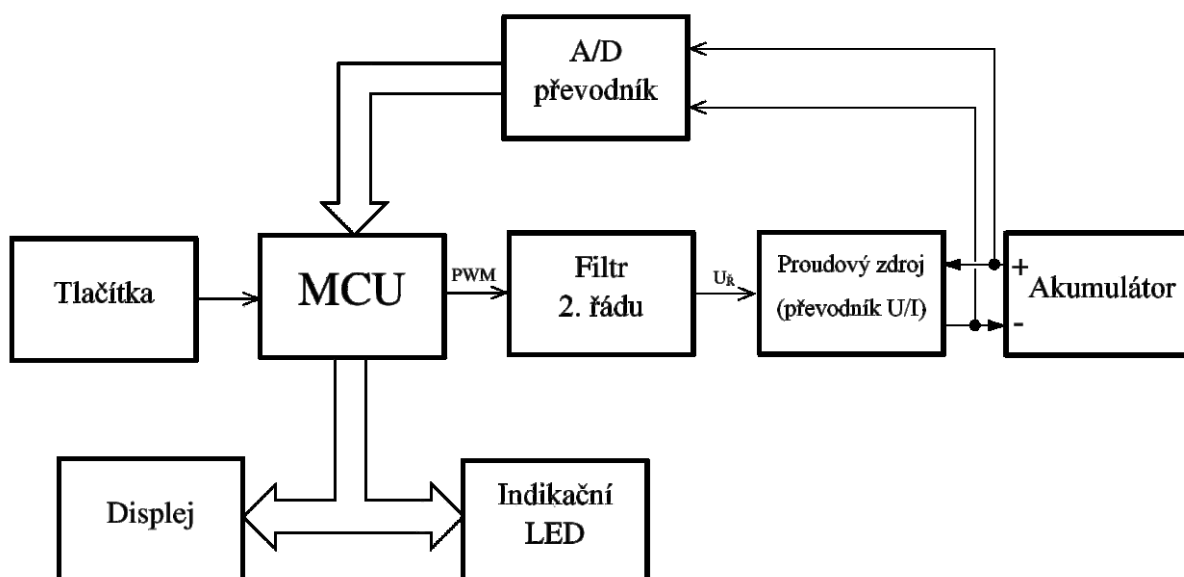
$$C = I \cdot t$$

kde I je vybíjecí proud a t doba vybíjení

Akumulátory vyhoví zkoušce v případě, že jejich změřená kapacita dosáhla alespoň 95% jmenovité hodnoty. Pokud je kapacita nižší, měl by se vyměnit elektrolyt (pokud to daný typ akumulátoru umožňuje), a zkouška se opakuje. [5] Bezprostředně po ukončení vybíjení je však třeba akumulátory nabít do znaků plného nabití, aby nedošlo ke stavu zvanému hluboké vybití, při kterém dochází v případě olověného akumulátoru ke zvýšené sulfataci elektrod. [4]

7. Konstrukce měřiče kapacity akumulátorů

Jelikož je kapacita akumulátorů jejich stěžejní vlastností, je dobré tuto veličinu u jednotlivých typů znát. Většinou se akumulátory testují vybíjením konstantním proudem a měřením doby vybíjení až po určitou nejnižší dovolenou hodnotu napětí. Jelikož je proces měření poměrně zdoluhavý, a bylo by časově náročné při vybíjení každou hodinu kontrolovat svorkové napětí a zároveň měřit čas, je vhodné tento proces automatizovat. Proto vzniklo toto zařízení, které při nastaveném vybíjecím proudě měří čas vybíjení, a zároveň kontroluje napětí vybíjeného akumulátoru. Základ konstrukce tvoří mikroprocesor, který řídí proudový zdroj, a zpracovává data z A/D převodníku měřícího napětí akumulátoru.



Obrázek 7 Blokové schéma navrženého měřiče

7.1. Mikroprocesor AT89S51

Jak již bylo zmíněno, srdcem celého měřiče je mikroprocesor AT89S51, který už je sice starší koncepce, avšak pro danou aplikaci plně dostačuje. Obsahuje 4kB programové paměti, přičemž výrobce uvádí, že lze paměť přeprogramovat až 10000x. Součástí jsou také dva čítače/časovače, šest zdrojů přerušení či 128x8bitová paměť RAM. Vše je uloženo v pouzdře PDIP40.

Při návrhu konstrukce bylo vycházeno z faktu, že je potřeba řídit multiplexovaný displej, a zároveň je ještě nutno obstarat funkci pulzně šířkové modulace. Proto jsou použity dva nezávislé časovače TR0 a TR1. V tomto případě se jedná opravdu o časovače, neboť jsou časové registry naplňovány vnitřním řídicím taktem mikroprocesoru. V případě, že by se časové registry naplňovaly vnějším taktem, jednalo by se o čítač. V obou případech se pak při přetečení časového registru tento registr vynuluje, a zároveň se vygeneruje příznak přerušení, který vyvolá odpovídající druh přerušení (pokud je toto přerušení v registru IE povoleno).

Tabulka 1 Registr interrupt enable

MSB				LSB			
EA	-	-	ES	ET1	EX1	ET0	EX0

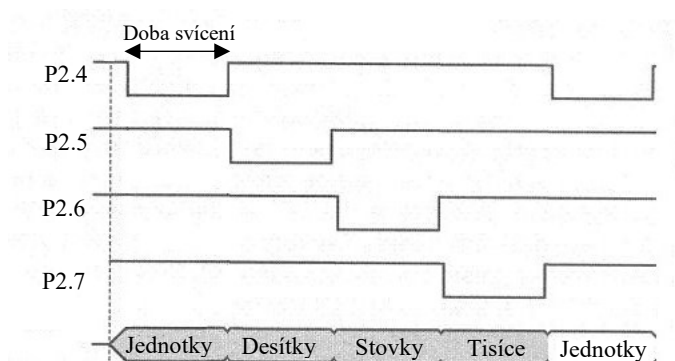
Jednotlivé bity jsou:

- EA – povolení přerušení
- ES – přerušení vyvolané na sériovém portu
- ET1 – přerušení čítačem/časovačem 1
- EX1 – externí přerušení 1
- ET0 – přerušení čítačem/časovačem 0
- EX0 – externí přerušení 0

Jelikož bude zapotřebí povolit přerušení způsobené přetečením časovače 1 a 2, je třeba povolit přerušení celkově (EA=1) a zároveň povolit jednotlivé typy přerušení, jimiž jsou ET1 a ET0. Do registru IE se tedy uloží hodnota $10001010_{(2)} = 8A_{(16)}$.

7.2. Zobrazovací jednotka

Časovač TR0 obstarává přerušení pro multiplexní displej. Při multiplexování displeje jsou vždy spojeny všechny vývody jednotlivých segmentů, a pozici displeje, která bude svítit, určuje připojená anoda k +5V (v případě displejů se společnou anodou, u displejů se společnou katodou se katoda připojuje k nulovému potenciálu).



Obrázek 8 Průběh řídicích napětí multiplexovaného displeje [14]

Aby nešlo vidět přeblikávání jednotlivých číslic, tak je nutno zajistit požadovaný kmitočet přepínání. Lidské oko má určitou setrvačnost a pokud se bude displej přepínat více jak 24x za sekundu, tak člověk neuvidí jednotlivé přepínání číslic. Jelikož jsou číslice 4, tak je nutno, aby každý segment problikl alespoň 96x za sekundu. Jelikož i při obnovovacím kmitočtu 100Hz mohou někteří jedinci problikávání displeje vidět, byla v této konstrukci zvolena obnovovací frekvence 1kHz. Zároveň se jedná o řídicí kmitočet pro měření času. Aby bylo dosaženo tohoto kmitočtu, je potřeba nastavit časovači TR0 dolní a horní hodnotu časového registru. Tím způsobíme to, že se registr časovače nebude naplňovat od 0 do 65536, ale začne se naplňovat už od určité počáteční hodnoty do 65536, čímž si zaručíme přesnou dobu naplňování registru časovače. Tato doba by pak měla odpovídat periodě přerušení. Výpočet hodnot TH0 a TL0 je uveden níže.

Potřebujeme periodu přerušení $T_p=1\text{ms}$, načež je potřeba při řídicí frekvenci mikroprocesoru $f_{cp}=24\text{Mhz}$ počet instrukcí daný vztahem:

$$n_{ins} = \frac{T_p}{t_{ins}} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{0,5 \cdot 10^{-6}} = 2000 \text{ instrukcí}$$

kde t_{ins} je doba trvání jedné instrukce

$$t_{ins} = \frac{1}{f_{cp}} = \frac{1}{24 \cdot 10^{-6}} = 0,5\mu\text{s}$$

Časovač by pak měl přetéct po napočítání hodnoty:

$$T0 = 2^{16} - 1 - n_{ins} = 2^{16} - 1 - 2000 = 65535_{10} = \text{F82F}_{16} = (\text{TH0}|\text{TL0})$$

takže

$$\text{TH0} = \text{F8}_{(16)}$$

$$\text{TL0} = \text{2F}_{(16)}$$

Dle schématu na obr. 23 vidíme, že displeje jsou připojeny k mikroprocesoru na bráně P2. Jelikož je použit převodník binárního čísla na sedmi segmentový displej, postačují k přenesení dat o aktuálně zobrazené číslovce 4 piny z brány P2 (konkrétně P2.0 – P2.3). Další 4 piny (P2.4 – P2.7) slouží k řízení tranzistorů ovládajících anody jednotlivých pozic displejů. V tabulce 2 je uvedena konfigurace brány P2. Proměnná ABCD je binární číslo, které se po dekódování převodníkem BCD-7segment zobrazí na displeji.

Tabulka 2 Konfigurace brány P2

P2.7	P2.6	P2.5	P2.4	P2.3	P2.2	P2.1	P2.0
tisíce	stovky	desítky	jednotky	D	C	B	A

Tabulka 3 Dekódovací tabulka převodníku 74LS47 [8]

Zobrazená číslice	D	C	B	A
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1

Tabulka 4 Nastavení bitů brány P2 pro zobrazení dané pozice displeje

Zobrazovaná pozice	jednotky	desítky	stovky	tisíce
Hodnota na bráně P2	1110xxxx	1101xxxx	1011xxxx	0111xxxx

Aby tedy bylo možno na jednom portu nastavit polovinu bitů pro ovládání anod a v druhé polovině bitů zakódovat zobrazovanou číslici, je nutno použít maskování. V případě, že tedy požadujeme zobrazit např. číslici 5 na pozici stovek, tak si podle tabulky 3 zjistíme, že číslici 5 odpovídá binární hodnota 0101. Při pohledu do tabulky 2 vidíme, že hodnota o zobrazované číslici je uložena v prvních čtyřech bitech. Na bránu P2 tedy musíme poslat hodnotu xxxx0101. Tímto by však došlo k tomu, že se zobrazí číslice 5 na různých pozicích displeje, protože v posledních čtyřech nejvyšších bitech je uložena informace o aktuálně zobrazující pozici v rámci multiplexu (v těchto bitech je zatím neurčitá hodnota = zakázaný stav). Pro zvolení číslice tedy potřebujeme ignorovat čtyři nejvyšší bity. Žádanou hodnotu xxxx0101 tedy přenásobíme číslem 00001111, čímž dostaneme výsledek 00000101. Pro zvolení pozice zase potřebujeme ignorovat čtyři nejnižší bity. Žádanou hodnotu 1011xxxx tedy přenásobíme číslem 11110000, čímž dostaneme výsledek 10110000. Celková konfigurace brány P2 je pak dána součtem maskovaných požadovaných hodnot pro nastavení zobrazované pozice a pro zobrazení číslice. Konfigurace brány P2 pro zobrazení číslice 5 na pozici stovek je tedy $00000101 + 10110000 = 10110101_{(2)}$. Jelikož je však program pro mikrokontroler napsán ve vyšším programovacím jazyce C, je tento výpočet značně usnadněn (viz kapitola Popis programu).

7.3. PWM modulace

Jelikož je nutno mikroprocesorem řídit analogový proudový zdroj, jehož proud je přímo úměrný řídicímu napětí, tak jsou v podstatě dvě možnosti generování řídicího napětí. Buďto může být použit D/A převodník, ten by však konstrukci prodražil, a navíc by byl měřič celkově komplikovanější. Druhou možností pak je využít časovač TR1 pro generování přerušení, jehož výsledkem bude PWM modulace. Jelikož je však použit starší mikroprocesor, který není úplně rychlý (vlivem taktovacího kmitočtu pouze 24MHz), bude mít pulzně namodulovaný signál poměrně nízký kmitočet (přibližně 100Hz). Tomu je pak potřeba přizpůsobit filtrační obvod, který namodulovaný signál převede na spojitý analogový. Jak již bylo řečeno, pro generování přerušení je použit časovač TR1. Tomu je potřeba nastavit časový registr tak, aby generoval přerušení vždy v přesný okamžik (aby byl stabilní kmitočet i střída PWM). Toho je dosaženo nastavením dolní a horní meze časového registru TL1 a TH1. Časový registr se tedy nebude naplňovat od 0, ale od určité hodnoty. Tím si zajistíme přesný čas, při kterém bude docházet k přerušení.

Frekvence přerušení byla zvolena s ohledem na rychlost použitého mikroprocesoru 1kHz. Výpočet TL1 a TH1 je uveden níže.

Potřebujeme periodu přerušení $T_p=1\text{ms}$, načež je potřeba při řídicí frekvenci mikroprocesoru $f_{cp}=24\text{Mhz}$ počet instrukcí daný vztahem:

$$n_{ins} = \frac{T_p}{t_{ins}} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{0,5 \cdot 10^{-6}} = 2000 \text{ instrukcí}$$

kde t_{ins} je doba trvání jedné instrukce

$$t_{ins} = \frac{1}{f_{cp}} = \frac{1}{24 \cdot 10^{-6}} = 0,5\mu\text{s}$$

Časovač by pak měl přetéct po napočítání hodnoty:

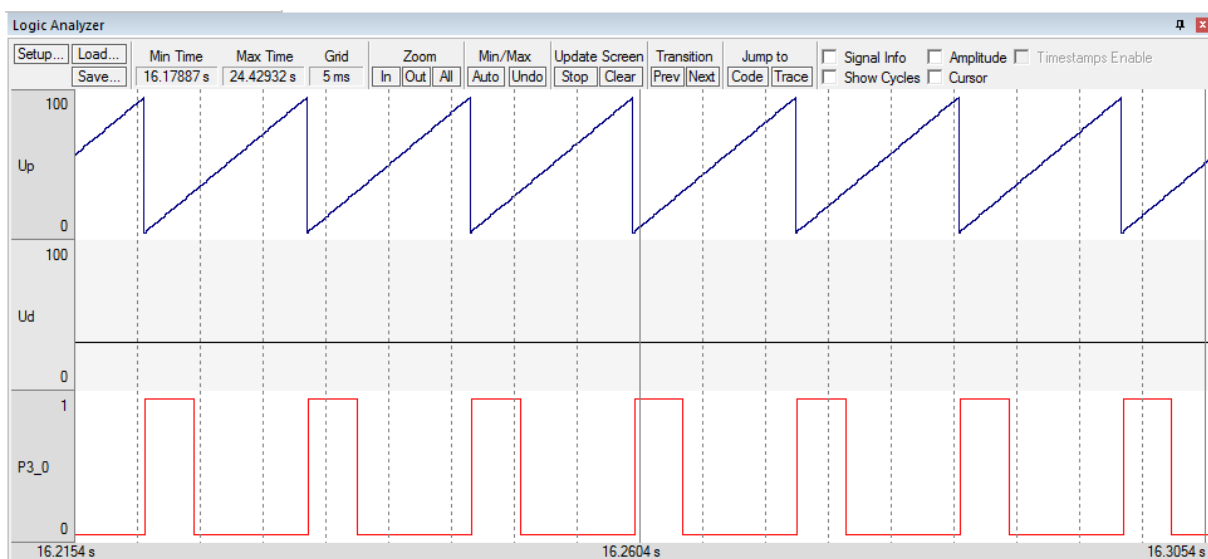
$$T1 = 2^{16} - 1 - n_{ins} = 2^{16} - 1 - 2000 = 65535_{10} = F82F_{16} = (TH1|TL1)$$

takže

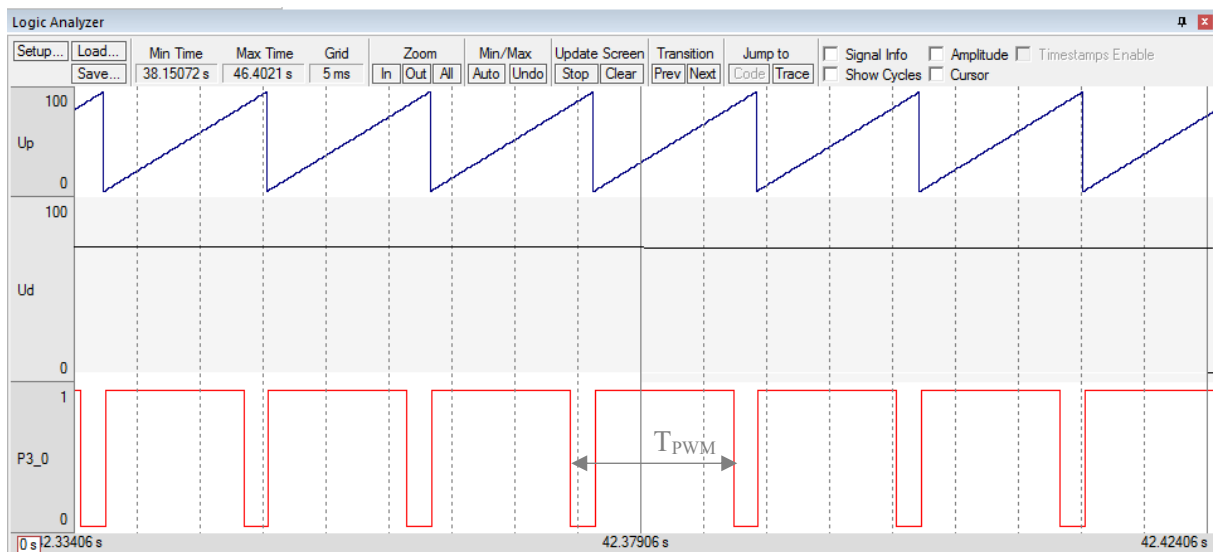
$$TH1 = F8_{(16)}$$

$$TL1 = 2F_{(16)}$$

PWM modulace v tomto případě vzniká stejně, jako tomu bývá u fyzického zapojení pulzního modulatoru – porovnává se okamžitá úroveň pilového signálu se signálem řídicím. Toho je dosaženo porovnáváním dvou proměnných definovaných jako Up a Ud (kde Up je pilový signál a Ud řídicí). Při každém přerušení se zvýší hodnota Up o 1, po dosažení hodnoty 100 pak dojde k vynulování. Hodnota Ud je v tomto případě pevně definována v intervalu 5-100. Pokud platí, že je $Ud > Up$, tak je na pinu P3.0 (na tomto pinu je PWM signál) log.1., v opačném případě je na P3.0 úroveň log. 0. Ukázkové průběhy proměnných Up , Ud a úrovně na P3.0, získané prostřednictvím debuggeru ve vývojovém prostředí Keil μ Vision, jsou zobrazeny na obr. 9 a 10.



Obrázek 9 Průběhy proměnných Up , Ud a úrovně pinu P3.0 při $Ud=30$ (střída 30%)



Obrázek 10 Průběhy proměnných U_p , U_d a úrovně pinu $P3.0$ při $U_d=85$ (střída 85%)

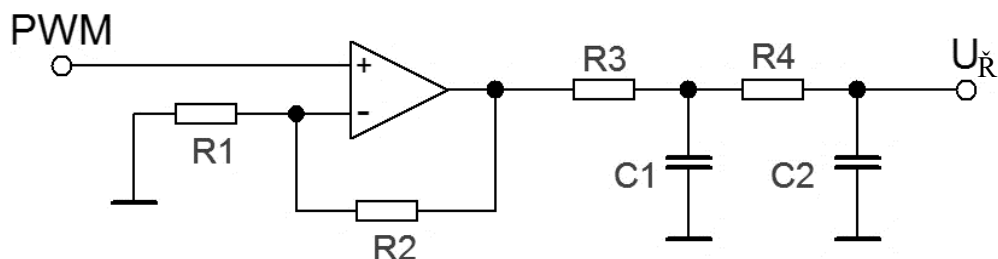
Jelikož je v horní části obr. 10 vidět, že horizontální mřížka je 5ms, můžeme po odečtení periody modulovaného signálu spočítat jeho frekvenci:

$$f_{PWM} = \frac{1}{T_{PWM}} = \frac{1}{12,75 \cdot 10^{-3}} = 78,43\text{Hz}$$

Vypočtená frekvence se od nastavené liší o 22Hz, což je způsobeno tím, že přerušení generující PWM má nižší prioritu, než přerušení generující řídicí kmitočty jak pro multiplexní displej, tak hlavně pro počítání času. Procesor AT89S51 má defaultně nastavenou vyšší prioritu pro přerušení způsobené časovačem 0. Pokud tedy dojde k přerušení vlivem časovače 1, nejprve se dokončí instrukce v přerušení 0, a teprve potom program skočí do přerušení 1. Nastavení priorit se dá samozřejmě změnit, mělo by to však za následek odchylku kmitočtu pro měření času, což je v tomto případě nežádoucí.

7.4.Filtr

Jelikož je proudová zátěž řízena stejnosměrným napětím, je potřeba výstup z mikroprocesoru v podobě pulzně modulovaného napětí vyfiltrovat tak, aby bylo vstupní řídicí napětí U_R proudové zátěže přímo úměrné střední hodnotě pulzně modulovaného napětí. K tomu slouží filtr typu dolní propust. Klasické zapojení integrátoru, kdy je ve zpětné vazbě operačního zesilovače kondenzátoru, není pro tuto aplikaci vhodné, neboť operační zesilovač invertuje vstupní napětí. Jelikož je však v této konstrukci použito pouze napětí jedné polaroty, bylo by na výstupu klasického integrátoru nulové napětí. Proto je zvoleno zapojení dle obr. 11, kdy je operační zesilovač zapojen jako neinvertující proporciální člen, který pouze navýší amplitudu modulovaného signálu, aby byly pokryty ztráty v následném pasivním RC členu.



Obrázek 11 Zapojení filtru typu dolní propust

Aby byly pokryty ztráty v pasivních RC členech, a zároveň aby nebyl přetěžován výstup mikroprocesoru (port P3.0) neustálým přebíjením kondenzátorů ve filtru, obsahuje filtr proporciální člen se zesílením $A=1,5$. Rezistor R_1 má zvolenou hodnotu $10\text{k}\Omega$, tomu pro dané zesílení odpovídá hodnota rezistoru R_2 :

$$R_2 = R_1(A - 1) = 10 \cdot 10^3(1,5 - 1) = 5\text{k}\Omega$$

Aby bylo výstupní napětí filtru dostatečně vyhlazené, je použit filtr druhého řádu, a to s velmi dlouhou časovou konstantou τ . Tato časová konstanta by měla být pro dobrý činitel filtrace alespoň osminásobkem periody vstupního signálu. Pokud má tedy šířkově modulovaný signál frekvenci $f_{\text{PWM}}=78\text{Hz}$, čemuž odpovídá perioda $T_{\text{PWM}}=13\text{ms}$, měla by být časová konstanta:

$$\tau_{R_3C_1} = 8T_{\text{PWM}} = 8 \cdot 13 \cdot 10^{-3} = 104\text{ms}$$

Pokud tedy pro RC člunek zvolíme kapacitu $C_1=470\text{nF}$, hodnota rezistoru R_3 pak bude:

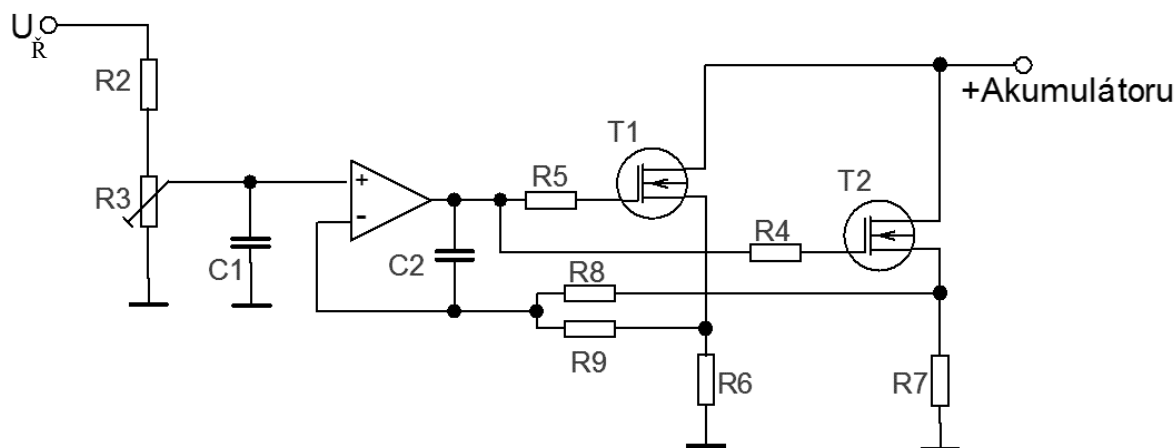
$$R_3 = \frac{\tau_{R_3C_1}}{C_1} = \frac{104 \cdot 10^{-3}}{470 \cdot 10^{-9}} = 221,3\text{k}\Omega \rightarrow \text{z řady E12 } 220\text{k}\Omega$$

Pro jednoduchost je bráno $R_3=R_4$ a $C_1=C_2$.

7.5. Proudová zátěž

O vybíjení akumulátoru se stará řízená proudová zátěž. Jednou možností je použít pro spotřebovávání energie z akumulátoru pasivní prvky, jimiž mohou být výkonové rezistory či žárovka. Toto se však jeví jako nevhodné z hlediska konstantního spotřebovávaného výkonu, neboť příkon žárovky či výkonového rezistoru je přímo úměrný připojenému napětí. Jelikož však napětí akumulátoru během procesu vybíjení klesá, snižoval by se i proud tekoucí takovou zátěží. Proto byla zvolena sofistikovanější metoda proudového zdroje, kdy je jako spotřebič použita dvojice tranzistorů pracujících v lineárním režimu. Téměř veškerá výkonová ztráta energie akumulátoru je tedy soustředěna na tyto

tranzistory, menší část energie je vyzařena z měřících rezistorů (viz jejich zapojení na obr. 12)

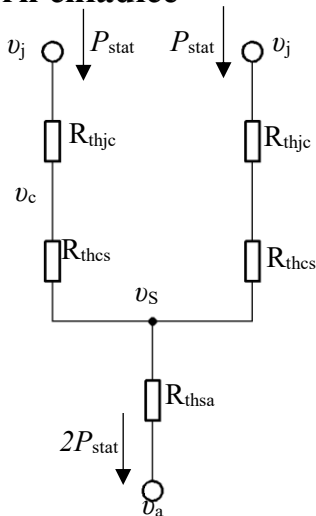


Obrázek 12 Zapojení elektronické zátěže

Rezistory R6 a R7 jsou výkonové, a měří se na nich úbytek napětí při průchodu proudu tekoucího z akumulátoru. Řídící napětí U_R se přivede přes odporový dělič tvořený rezistory R2 a R3 na neinvertující vstup operačního zesilovače, který má přímo na vstupu umístěn kondenzátor C1, jenž potlačuje šum z odporového děliče (tento je totiž tvořen rezistory velkých odporů z důvodu co nejmenšího zatížení předchozího stupně, jímž je filtr). Operační zesilovač porovnává řídicí napětí s napětím přivedeného ze zpětné vazby z měřících rezistorů. Na základě toho se na výstupu napětí buďto zvýší (v případě, že je řídicí napětí vyšší než napětí ze zpětné vazby), nebo sníží (v případě, že proud tekoucí zátěží je vyšší než by měl, čímž vyvolá velký úbytek na měřících rezistorech). Jelikož jsou porovnávány hodnoty řídicího napětí se změřeným úbytkem napětí velmi nízké hodnoty (v řádech mV až 100mV), je potřeba použít operační zesilovač s malým vstupním offsetem napětí. Kdyby byl totiž operační zesilovač nevhodně zvolen, došlo by k velmi nepřesné regulaci. Proto byl zvolen typ LM358, který má podstatně nižší offset vstupního napětí (2mV) v porovnání s například hojně užívanými TL071 či OP17 (offset přes 15mV). Další nespornou výhodou je, že LM358 dokáže fungovat i bez záporného napájecího napětí.

Použité tranzistory IRF540 mají sice přípustnou výkonovou ztrátu až 130W, mají však také dosti velký tepelný odpor mezi polovodičovým přechodem a pouzdrem (dle katalogu 1°C/W), proto aby nedošlo k překročení maximální přípustné teploty přechodu, jsou zapojeny dva tyto tranzistory paralelně. Pokud použijeme dva stejné tranzistory paralelně, sníží se jejich tepelný odpor mezi polovodičovým přechodem a chladičem na polovinu. Toto si můžeme dovolit, neboť se jedná o tranzistory MOSFET, jenž mají kladný teplotní koeficient odporu, což znamená, že pokud má jeden tranzistor větší teplotu než druhý, tak teplejší tranzistor sám zvýší svůj odpor, čímž dojde ke snížení protékajícího proudu. V důsledku toho jsou teploty obou tranzistorů srovnány a nedojde k přetížení.

Návrh chladiče



Obrázek 13 Znáznornění struktury tepelných odporů pro výpočet chladiče

Při návrhu je potřeba zjistit v katalogovém listu [9] použitého tranzistoru IRF540 příslušné tepelné údaje:

- maximální přípustná teplota přechodu – $v_{jmax} = 175\text{ °C}$
- tepelný odpor mezi přechodem a pouzdrem – $R_{thjc} = 1\text{ °C/W}$
- tepelný odpor mezi pouzdrem a chladičem – $R_{thcs} = 0,5\text{ °C/W}$

Celkový ztrátový výkon na jednom tranzistoru pak bude:

$$P_{tot} = P_{on} + P_{off} + P_{stat}$$

kde P_{on} je ztrátový výkon při zapínání tranzistoru, P_{off} ztrátový výkon při vypínání tranzistoru a P_{stat} je statický ztrátový výkon.

Jelikož tranzistor pracuje v lineárním režimu, jsou zapínací a vypínací ztráty nulové, celkový ztrátový výkon jednoho tranzistoru tedy bude roven statickým ztrátám:

$$P_{stat} = U_{bat} \cdot I_{max} - R_6 I_{max}^2 = 12 \cdot 5 - 0,22 \cdot 5^2 = 54,5\text{W}$$

kde U_{bat} je napětí akumulátoru, I_{max} je maximální proud jedním tranzistorem (jelikož jsou tranzistory dva, tak se maximální proud 10A rozdělí na 2x5A).

Pro výpočet bude použita maximální dovolená teplota přechodu $\vartheta_j = 160\text{ °C}$, aby měl přechod teplotní rezervu. Teplota chladiče pak bude:

$$\vartheta_s = \vartheta_j - P_{stat} \cdot (R_{thjc} + R_{thcs}) = 160 - 54,5(1 + 0,5) = 78,25\text{ °C}$$

Aby byl chladič schopen předat toto teplo do okolí o teplotě $\vartheta_a = 30\text{ °C}$, musí mít určitý tepelný odpor daný vztahem:

$$R_{thsa} = \frac{\vartheta_s - \vartheta_a}{2P_{stat}} = \frac{78,25 - 30}{2 \cdot 54,5} = 0,44\text{ °C/W}$$

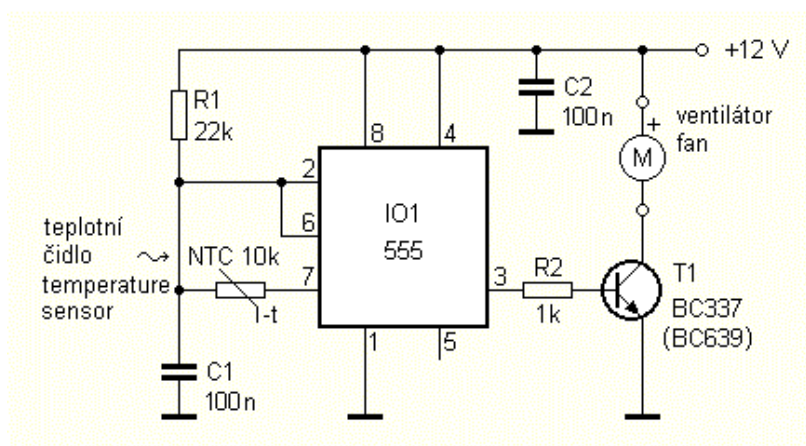
Jelikož je tepelný odpor chladiče $0,44^{\circ}\text{C/W}$ poměrně nízká hodnota, je zapotřebí použít aktivní chladič s ofukováním pomocí ventilátoru. Ventilátor zajistí lepší odvod tepla ze žebrování chladiče. Pokud by byl použit pouze samotný chladič, je jeho tepelný odpor poměrně vysoký. Po doplnění o ofukování proudícím vzduchem však dojde k jeho prudkému poklesu. Po výpočtu maximálního přípustného tepelného odporu byl vybrán chladič, který je sice určen primárně pro procesor uvnitř PC skříně, jeho parametry jsou však pro danou aplikaci více než dostačující. U vybraného chladiče Arctic Cooling Silencer 64 Ultra TC je totiž tepelný odpor $R_{thsa} = 0,29^{\circ}\text{C/W}$. Teplota polovodičového přechodu tranzistoru při použití tohoto chladiče tedy bude:

$$\vartheta_j = \vartheta_a + R_{thsa} \cdot 2P_{stat} + P_{stat} \cdot (R_{thjc} + R_{thcs}) = 30 + 0,29 \cdot 2 \cdot 54,5 + 54,5(1 + 0,5) = 143^{\circ}\text{C}$$

což je ještě dostatečná rezerva vůči maximální přípustné teplotě přechodu použitého tranzistoru vyčtené z katalogu $t_{jmax} = 175^{\circ}\text{C}$.

7.6. Regulator otáček ventilátoru

Jelikož je ztrátový výkon na tranzistoru přímo úměrný protékajícímu proudu, je zřejmé, že pokud bude protékající proud malý (při vybíjení malých akumulátorů), tak tomu bude odpovídat i nízký ztrátový výkon. Proto není nutno, aby měl ventilátor ofukující chladič neustále maximální otáčky.



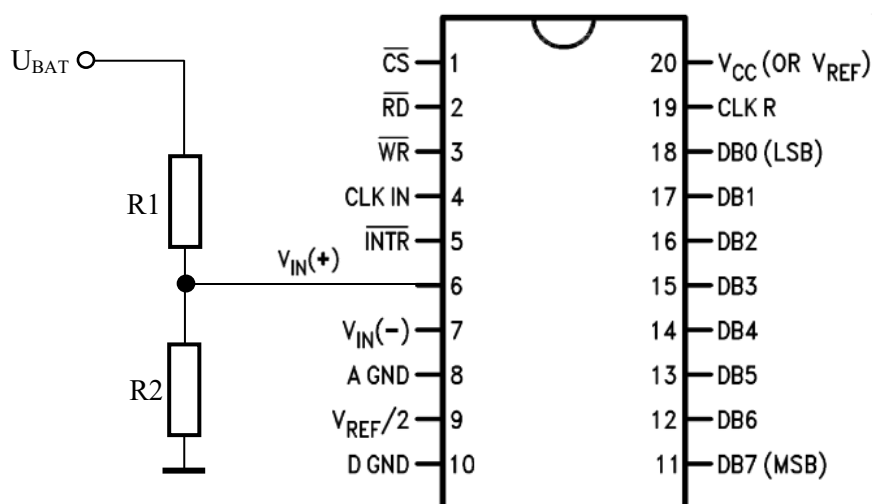
Obrázek 14 Zapojení regulátoru otáček ventilátoru [10]

Na obr. 14 jedno z možných řešení pro regulaci otáček. Toto zapojení funguje v podstatě jako modulátor šířkově modulovaného signálu v závislosti na teplotě termistoru. Je-li termistor studený, je vybíjecí tranzistor uvnitř vývodu 7 časovače 555 sice otevřený, avšak termistor má tak velký odpor, že se na vývodech 2 a 6 nezmenší napětí pod $1/3$ napájecího napětí, obvod se nerozkmitá a tranzistor je zcela uzavřen. Po zahřátí se odpor termistoru zmenší a obvod se rozkmitá. Impulsy jsou však zpočátku příliš úzké a ventilátor se neroztočí. Při dalším zahřívání termistoru se impulsy prodlužují a ventilátor se roztočí tím rychleji, čím je teplota vyšší. S uvedenými součástkami je začátek regulace přibližně při pokojové teplotě. Pro termistor s jiným jmenovitým odporem nebo při požadavku na regulaci od jiné teploty bude třeba experimentovat s odporem rezistoru R1, případně jej nahradit trimrem. Tranzistor T1 pracuje v impulsním provozu a prakticky se nezahřívá. [10] Nutno podotknout, že je třeba umístit termistor NTC do tepelného kontaktu s chladičem nebo ještě lépe přímo k pouzdru výkonového tranzistoru v proudovém zdroji.

7.7.A/D převodník

Jelikož je použit mikroprocesor staršího typu, který neobsahuje interní A/D převodník, je potřeba použít převodník externí. K tomu byl vybrán typ ADC0804. Jedná se o aproximační převodník, který komunikuje s mikroprocesorem po 8-bitové paralelní sběrnici.

Jelikož je povoleno na diferenční měřicí vstupy přivést napětí o maximální velikosti $U_{CC}+0,05V$, je nutno při měření napětí akumulátoru, který při nominální hodnotě 12V může mít v nabitém stavu svorkové napětí naprázdno až 14,5V, použít napěťový dělič na vstupu.



Obrázek 15 Připojení odporového děliče k A/D převodníku [15]

Pro návrh odporového děliče je pak počítáno s rezervou. Jako měřené napětí akumulátoru je tedy bráno $U_{BAT}=15V$. Pokud je tedy zvolen rezistor $R_2=10k\Omega$, a aby bylo maximální napětí $U_{IN(+)}=5V$, musí mít rezistor R_1 hodnotu:

$$R_1 = R_2 \left(\frac{U_{BAT}}{U_{IN(+)}} - 1 \right) = 10 \cdot 10^3 \left(\frac{15}{5} - 1 \right) = 20k\Omega$$

Jelikož se však jedná o měřicí odporový dělič, tak je vhodné, aby se jednalo o rezistory s malou tolerancí. Proto byly zvoleny rezistory s tolerancí $\pm 0,1\%$.

Na obr. 15 je vidět rozmístění jednotlivých pinů A/D převodníku. Vývod označený $V_{REF}/2$, respektive úroveň napětí na něj připojená, určuje, jakou úroveň bud mít měřené napětí. Pokud by bylo nutno měřit napětí nižší než je 5V, nebyl by plně pokryt rozsah výstupních datových kombinací, kterých je v případě tohoto 8-bitového převodníku 256. Jelikož je však v této konstrukci za odporovým děličem napětí 0-5V, musí zůstat vývod $V_{REF}/2$ nezapojen. Úroveň 5V pak bude odpovídat datový výstup $FF_{(16)}$. Důležitou vlastností každého převodníku je jeho rozlišovací schopnost. Ta udává, jaký je rozdíl mezi jednotlivými měřitelnými úrovněmi napětí. Za daných podmínek je rozlišovací schopnost:

$$dU_{A/D} = \frac{U_{IN(+)}}{2^8} = \frac{5}{2^8} = 19,5mV$$

Jednotlivé kvantizační úrovně jsou tedy od sebe vzdáleny 19,5mV, což je pro danou potřebu plně dostačující.

Aby bylo možno v programu pro mikrokontrolér definovat výstupní stavy A/D převodníku, vznikla následující tabulka popisující datový výstup v závislosti na nastaveném vypínacím napětí akumulátoru.

Tabulka 5 Převod vypínacího napětí na odpovídající výstup A/D převodníku

U_{off} (V)	$U_{\text{IN}(+)}$ (V)	$q_{A/D}$ (-)	$q_{A/D(10)}$ (-)	$q_{A/D(16)}$ (-)
10	3,333	171	171	AB
10,1	3,367	172,7	173	AD
10,2	3,400	174,4	174	AE
10,3	3,433	176,1	176	B0
10,4	3,467	177,8	178	B2
10,5	3,500	179,5	180	B4
10,6	3,533	181,2	181	B5
10,7	3,567	182,9	183	B7
10,8	3,600	184,6	185	B9
10,9	3,633	186,3	186	BA
11	3,667	188,05	188	BC
11,1	3,700	189,7	190	BE
11,2	3,733	191,4	191	BF
11,3	3,767	193,1	193	C1
11,4	3,800	194,8	195	C3
11,5	3,833	196,5	197	C5
11,6	3,867	198,2	198	C6

Kde U_{off} je nastavené vypínací napětí, $U_{\text{IN}(+)}$ je vstupní napětí do A/D převodníku za odporovým děličem, $q_{A/D}$ je teoretická kvantizační úroveň identifikovaná převodníkem, $q_{A/D(10)}$ je přiřazená kvantizační úroveň v desítkové soustavě a $q_{A/D(16)}$ je přiřazená kvantizační úroveň převedená do soustavy šestnáctkové.

Příklad výpočtu z tab. 5 pro $U_{\text{off}}=11\text{V}$

$$U_{\text{IN}(+)} = U_{\text{off}} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 11 \cdot \frac{10}{20 + 10} = 3,667\text{V}$$

$$q_{A/D} = \frac{U_{\text{IN}(+)}}{k_{A/D}} = \frac{3,667}{19,5 \cdot 10^{-3}} = 188,05$$

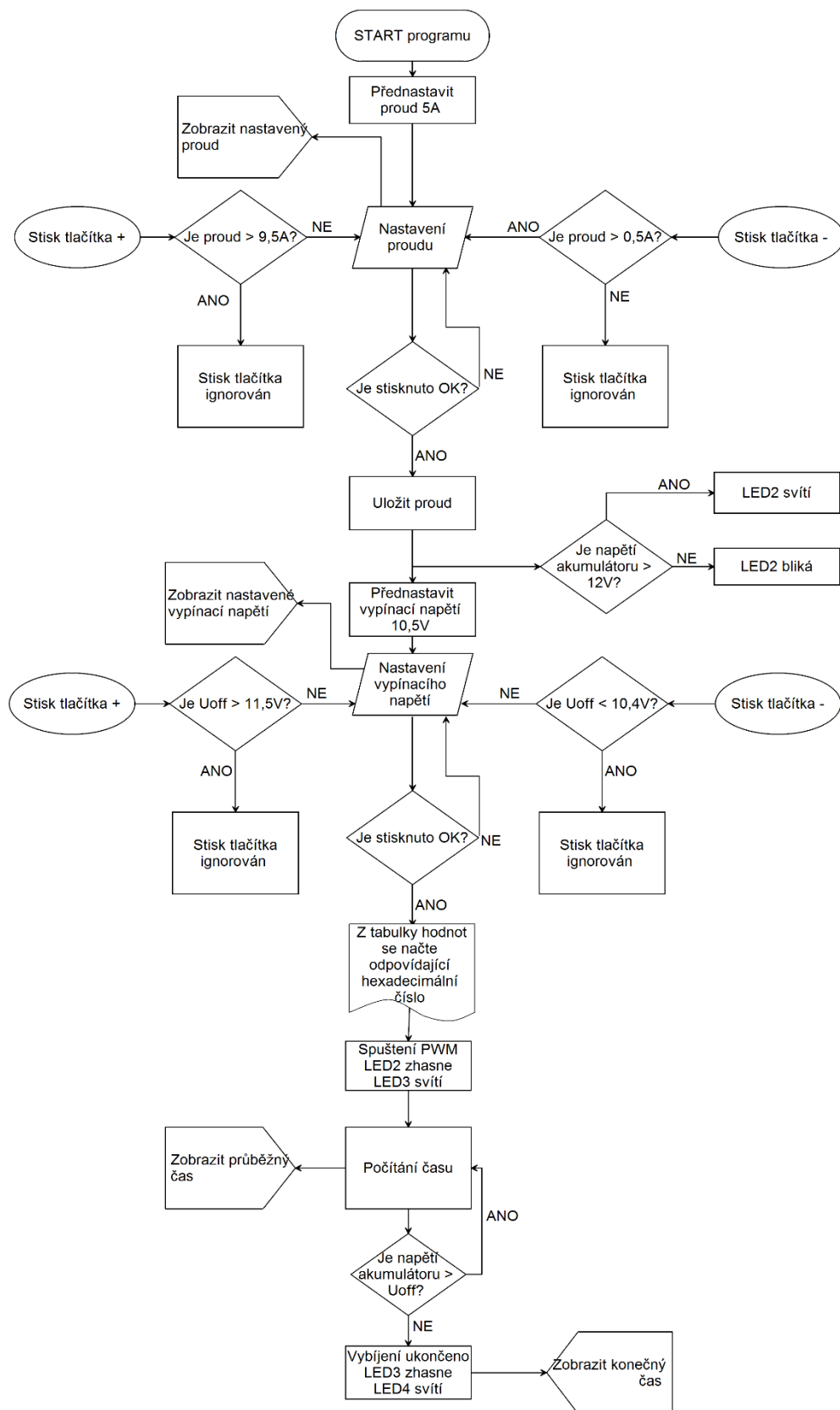
$$q_{A/D(10)} = \text{celá část}(q_{A/D}) = 188$$

$$q_{A/D(16)} = \frac{q_{A/D(10)}}{2^8} \cdot FF_{(16)} = \frac{188}{2^8} \cdot FF_{16} = BC_{16}$$

7.8. Popis programu pro mikrokontrolér

Celý program je svou strukturou rozdělen do čtyř částí. Tyto části jsou od sebe odděleny pomocí proměnné STAV. Pokud je STAV roven 0, je hlavní program v podprogramu nastavování proudu. Každý další podprogram má hodnotu proměnné STAV o jedna větší, v pořadí: nastavení proudu, nastavení vypínacího napětí, počítání doby vybíjení a konec.

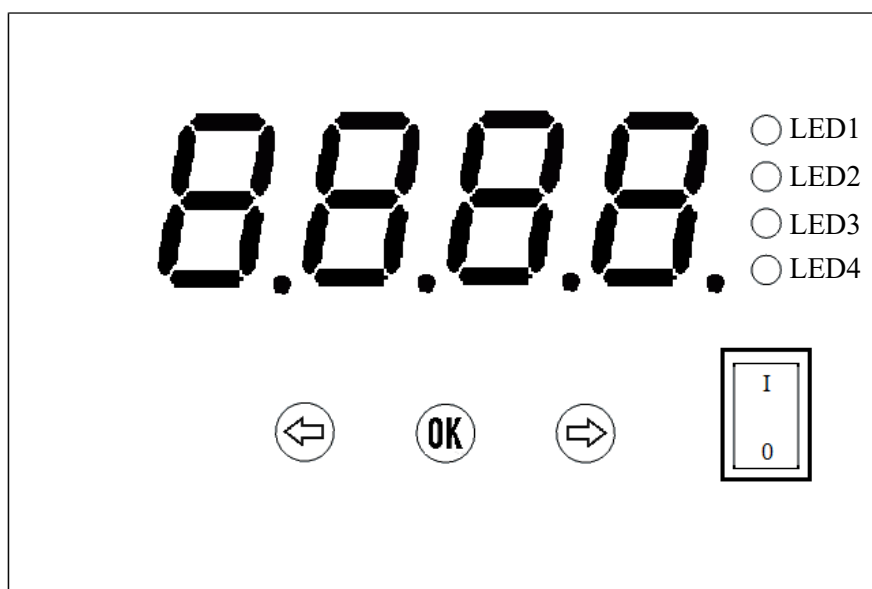
V hlavní programové smyčce se po zapnutí mikroprocesoru provede reset celého procesoru. Tím je však na vývodu určeného pro výstup PWM řídicího signálu po krátkou dobu úroveň *high*, což se po vyfiltrování projeví jako požadavek na proudový zdroj, aby jím protékal proud 10A. Proto je hned na začátku programu napsán příkaz, který po resetu nastaví výstup určený pro PWM na úroveň *low*. Dále následuje série deklarace proměnných, jež se v programu vyskytují. Zde stojí za povšimnutí proměnná *tabulka*. V té jsou definovány hodnoty v šestnáctkové soustavě, a tyto hodnoty popisují data přivedená na bránu P1, k níž je připojen A/D převodník. Jelikož se v určité části programu nastavuje hodnota požadovaného vypínacího napětí akumulátoru v rozmezí hodnot 10 – 11,6V, je potřeba těmto vypínacím napětím přiřadit jejich odpovídající hodnotu v šestnáctkové soustavě. Tento převod je znázorněn v tab. 5. Následně program skočí do hlavní programové smyčky *main*, V té se povolí přerušování časovačem 0 i časovačem 1. Následně se provede bitové nastavení TR0 na úroveň log. 1, čímž se aktivuje časovač 0, který má na starosti počítání času a obstarávání multiplexace displeje. Časovač TR1 zůstává zatím vypnutý, neboť tento má na starosti pulzně šířkovou modulaci, která je však během nastavování proudu a vypínacího napětí vypnutá. Následně program přejde do nekonečné smyčky *while(1)*. Zde je již nastaven STAV na hodnotu 0, tedy nastavování proudu. Jelikož je pro mikroprocesor jednodušší počítání s celými čísly, má proměnná *proud* hodnotu nastavitelnou v intervalu 5-100, čemuž odpovídá skutečný proud tekoucí zátěží 0,5-10A. Pro zobrazení správné hodnoty na displeji se tedy tato proměnná musí podělit deseti. Pro jednoduchost se při potvrzení nastaveného proudu uloží obsah proměnné *proud* také do proměnné *Ud*, která nabývá hodnot 5-100%, což po porovnání s pilovým signálem (viz obr 9 a 10) určuje střidu PWM signálu. Následně se již STAV rovná 1, čemuž odpovídá nastavení vypínacího napětí. Proto se přivede na pin mikroprocesoru P0.7 úroveň log. 0, čímž dojde k aktivaci indikační LED2. Ještě předtím se však zkontroluje aktuální napětí připojeného akumulátoru, a pokud je nižší než 12V, LED2 bliká s kmitočtem 0,5Hz. Proměnná *blikat*, kterou je řízeno blikání LED2 a během počítání času i blikání dvojtečky, je každou vteřinu znegována, čímž je vytvořen onen takt 0,5Hz. Po nastavení vypínacího napětí, které je opět z důvodu vyhnutí se desetinným číslům v intervalu $U_{off}=100-116$ (tomu odpovídá 10-11,6V), je vybrána příslušná hodnota *Uoff* z tabulky. Zároveň se zapne časovač TR1, který způsobí aktivaci PWM modulace. Dojde také k započatí počítání času. Po deseti vteřinách počítání času se poprvé zkontroluje napětí akumulátoru. Od té doby se pak napětí kontroluje každou vteřinu. V momentě, kdy A/D převodník zaznamená, že je napětí akumulátoru menší, než přednastavená hodnota, počká program v čekací smyčce po dobu 32ms, a zkontroluje napětí znovu. Pokud je změřené napětí stále nižší, opět program počká v čekací smyčce 32ms, a zkontroluje napětí potřetí. Pokud je stále nižší, než nastavené, nastaví se TR1 na hodnotu 0, čímž dojde k deaktivaci PWM řízení. Jelikož by však mohl být časovač zastaven zrovna v okamžiku, kdy je modulovaný signál v úrovni *high*, je ihned po zastavení časovače programově zajištěna úroveň *low* příkazem P3.1=0. Následuje STAV 3, ve kterém zůstane na displeji zobrazená hodnota výsledného času. Sekundy jsou totiž při každém strojním cyklu nulovány, proto nedochází k navyšování minut.



Obrázek 16 Vývojový diagram popisující program pro mikroprocesor

8. Návod k ovládání

1. Po sepnutí hlavního vypínače se na displeji zobrazí vybíjecí proud (indikováno svítící LED1)
2. Pomocí tlačítek doprava či doleva se nastaví požadovaný vybíjecí proud a potvrdí se stiskem „OK“
3. Nyní se pomocí šipek doleva/doprava nastaví hodnota konečného vybíjecího napětí (tento stav je indikován svítící LED2)
4. Stiskem tlačítka „OK“ se konečné vybíjecí napětí uloží
5. Nyní se rozsvítí LED3, která indikuje proces vybíjení, zároveň se na displeji zobrazí aktuální doba vybíjení
6. Po dosažení konečného vybíjecího napětí se vybíjení samočinně ukončí, na displeji zůstane zobrazena změřená doba. Ukončení indikuje svítící LED4



Obrázek 17 Ovládací panel

9. Měření kapacit pomocí sestaveného zařízení

Kapacita byla měřena u akumulátorů o jmenovité kapacitě 8 a 17Ah. Jelikož se však nejedná o nové akumulátory, tak lze očekávat, že jejich reálná kapacita bude nižší. Jako první však byla změřena převodní tabulka popisující odchylku skutečného vybíjecího proudu oproti nastavenému. Výsledky jsou zřejmé z následující tabulky:

Tabulka 6 Porovnání nastaveného a skutečného vybíjecího proudu

I_{nast} (A)	s (%)	I_{skut} (A)	ΔI (A)	δI (%)
0,5	5,02	0,506	0,006	1,2
1	10,01	0,997	-0,003	0,3
1,5	15,08	1,53	0,03	2
2	20,03	1,98	-0,02	1
2,5	25,09	2,494	-0,006	0,24
3	30,08	3,071	0,071	2,367
3,5	35,29	3,509	0,009	0,257
4	40,17	3,921	-0,079	1,975
4,5	45,03	4,482	-0,018	0,4
5	50,12	4,93	-0,07	1,4
5,5	55,12	5,391	-0,109	1,982
6	59,99	5,92	-0,08	1,333
6,5	65,13	6,377	-0,123	1,892
7	69,93	6,94	-0,06	0,857
7,5	74,81	7,36	-0,14	1,867
8	79,79	7,843	-0,157	1,963
8,5	84,87	8,317	-0,183	2,152
9	89,78	8,813	-0,187	2,078
9,5	95,13	9,234	-0,266	2,8
10	100	9,65	-0,35	3,5

kde s I_{nast} je proud nastavený na měřiči, s je střída PWM signálu, I_{skut} je skutečná hodnota proudu tekoucí to aktivní zátěže, ΔI je absolutní odchylka proudu a δI relativní odchylka proudu.

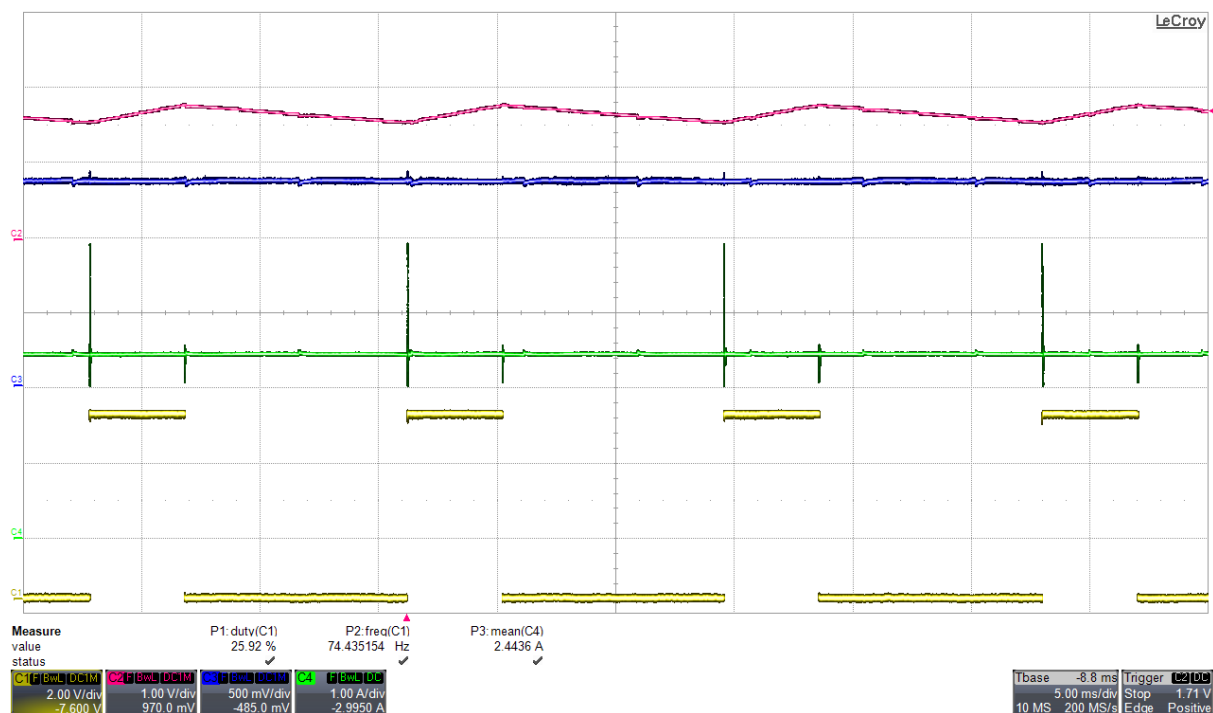
Ukázka výpočtu odchylky pro $I_{\text{nast}}=5,5\text{A}$:

$$\Delta I = I_{\text{skut}} - I_{\text{nast}} = 5,391 - 5,5 = -0,109\text{A}$$

$$\delta I = \frac{|\Delta I|}{I_{\text{nast}}} \cdot 100 = 1,982\%$$

Jelikož byl požadavek na přesnost nastaveného proudu $\pm 3\%$, lze říci, že toto bylo při konstrukci téměř dodrženo (vyjma při nastaveném proudu 10A).

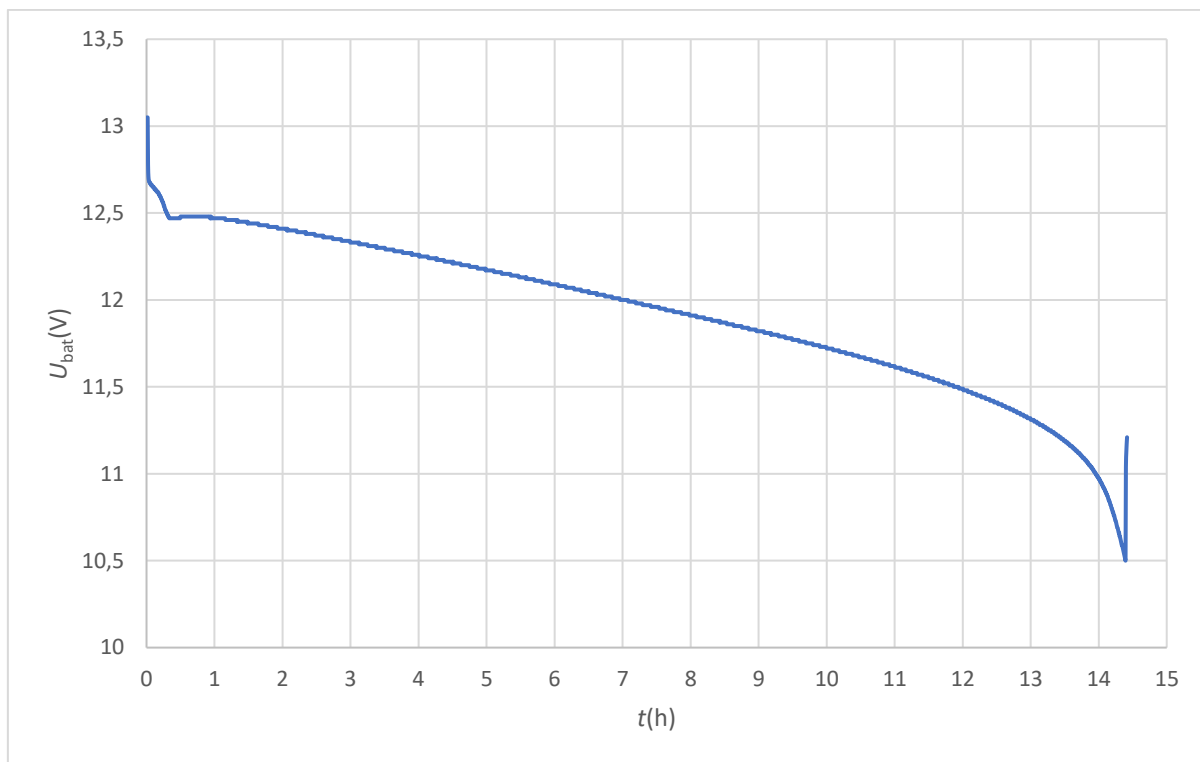
Na obr. 18 jsou vyobrazeny naměřené průběhy řídicích napětí a vybíjecího proudu. Na kanálu C1 je vykresleno modulované napětí, jež je výstupem z mikroprocesoru. Kanál C2 zobrazuje ještě ne úplně dobře vyhlazené modulované napětí za prvním RC členem ve filtru. Kanál C3 vykresluje napětí vystupující z filtru, které je již dobře vyfiltrované. Ke kanálu C4 je pak připojena proudová sonda měřící průběh vybíjecího proudu.



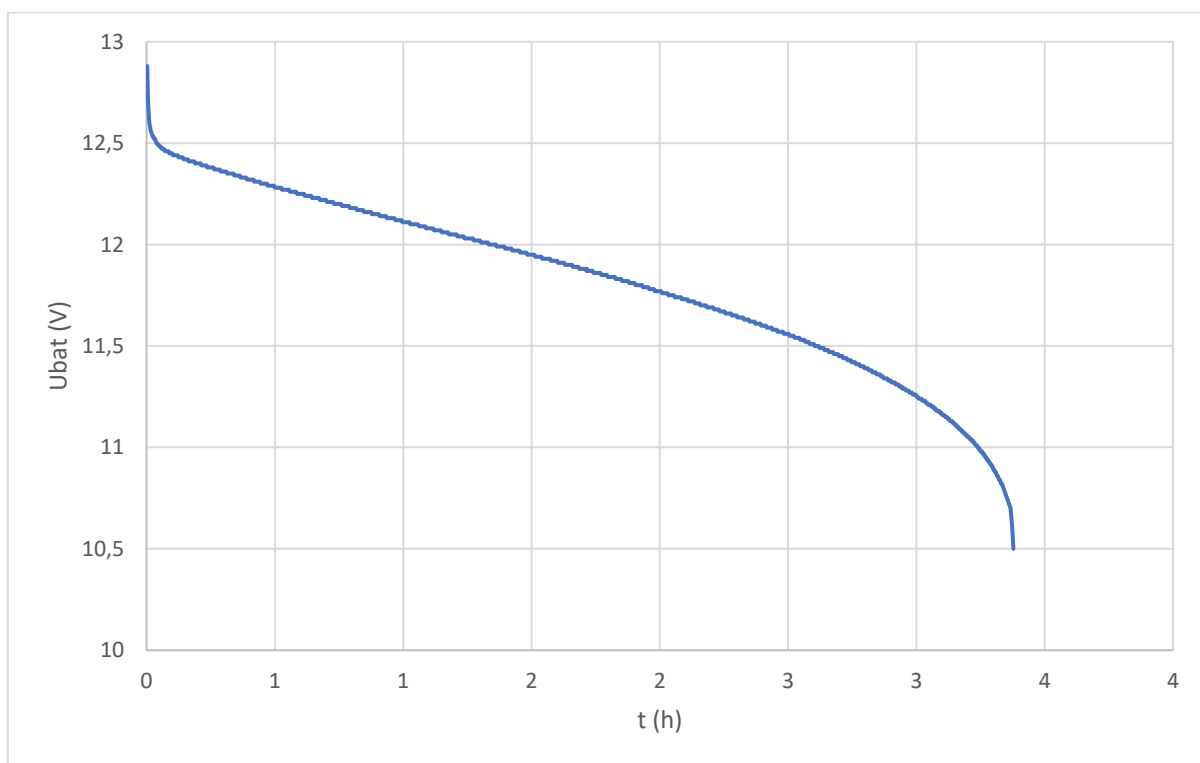
Obrázek 18 Průběhy řídicích napětí a vybíjecího proudu

9.1. Měření akumulátoru Orema UN17-12

Akumulátor Orema UN17-12 má dle výrobce jmenovitou kapacitu $C_{20}=17\text{Ah}$ a $C_5=14,5\text{Ah}$ [11]. Pro změření kapacity C_{20} je tedy zapotřebí plně nabitý akumulátor vybíjet konstantním proudem $0,85\text{A}$ po dosažení svorkového napětí $10,5\text{V}$. Jelikož však zkonstruovaný přístroj neumožňuje nastavit vybíjecí proud $0,85\text{A}$, je zvolena nejbližší možná hodnota 1A . S tímto proudem by tak měla být teoretická doba vybíjení 17h . Pro měření kapacity C_5 je nutné jej vybíjet proudem $3,4\text{A}$, je tedy zvolena nejbližší hodnota umožněná měřicím přístrojem $3,5\text{A}$.



Obrázek 19 Vybíjecí charakteristika UN17-12 při vybíjecím proudu 1A



Obrázek 20 Vybíjecí charakteristika UN17-12 při vybíjecím proudu 3,5A

Tabulka 7a, 7b Výběr hodnot z vybíjecích charakteristik akumulátoru Orema UN17-12

a) vybíjecí proud 1A

$t(h)$	$U_{bat}(V)$
0,00	13,05
1,00	12,47
2,00	12,41
3,00	12,33
4,00	12,26
5,00	12,17
6,00	12,09
7,00	12,00
8,00	11,91
9,00	11,82
10,00	11,72
11,00	11,62
12,00	11,49
13,00	11,31
14,00	10,97
14,25	10,73
14,50	10,50

b) vybíjecí proud 3,5A

$t(h)$	$U_{bat}(V)$
0	12,88
0,5	12,28
1	12,11
1,5	11,95
2	11,77
2,5	11,56
2,75	11,42
3	11,25
3,2	11,05
3,37	10,5

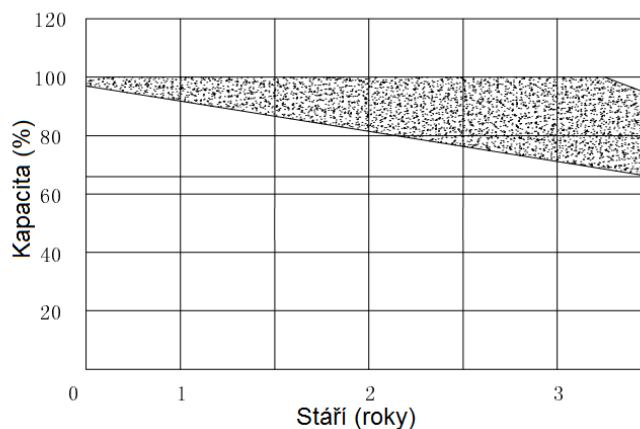
Akumulátor dosáhl při vybíjení proudem 1A svorkového napětí 10,5V po uplynutí doby 14,5h. Kapacita C_{20} je tedy:

$$C_{20} = I \cdot t = 1 \cdot 14,5 = \mathbf{14,5Ah}$$

Při vybíjení proudem 3,5A dosáhl konečného vybíjecího napětí 10,5V již po 3,37h, kapacita C_5 je tedy:

$$C_5 = I \cdot t = 3,5 \cdot 3,37 = \mathbf{11,8Ah}$$

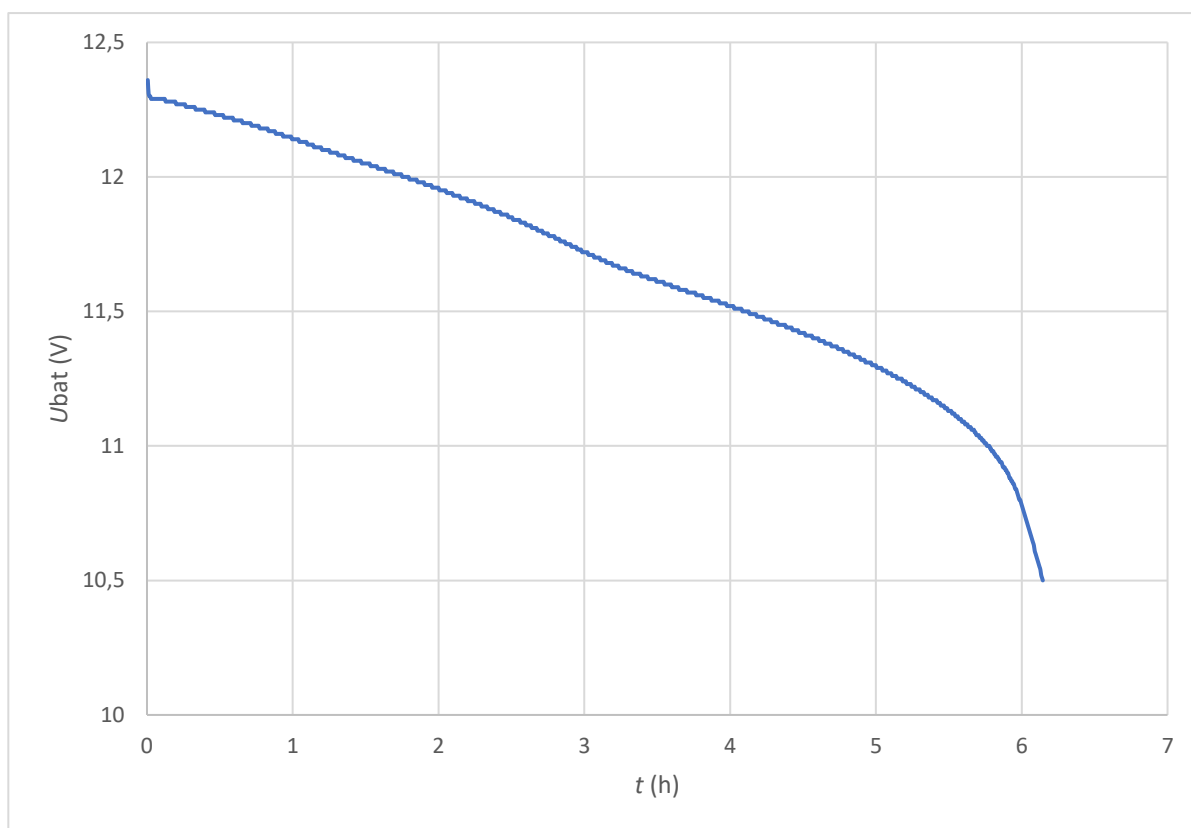
Změřené kapacity se od jmenovitých liší, neboť, jak již bylo zmíněno, akumulátor svoji kapacitu ztrácí s časem. Tato závislost je zřejmá z obr. 21. Graf byl převzat přímo z katalogového listu výrobce daného akumulátoru. Jedná se však o orientační hodnotu, které je dosaženo pouze při správném zacházení po celou dobu života akumulátoru.



Obrázek 21 Orientační závislost kapacity akumulátoru Orema UN17-12 na jeho stáří [11]

9.2. Měření akumulátoru Orema UN8-12

V případě tohoto akumulátoru udává výrobce kapacitu 8Ah. Jelikož tento akumulátor nebyl skladován v plně nabitém stavu, tak lze očekávat, že jeho kapacita bude výrazně nižší. Při měření kapacity C_{20} byl zvolen z možných rozsahů měřiče vybíjecí proud 0,5A. Při tomto proudu by měl být plně nabitý akumulátor vybit v ideálním případě po 16 hodinách.



Obrázek 22 Vybíjecí charakteristika akumulátoru UN8-12 při vybíjecím proudu 0,5A

Tento akumulátor jevil známky vybití po 6,15hod, čemuž při proudu 0,5A odpovídá kapacita:

$$C_{20} = t \cdot I = 6,15 \cdot 0,5 = \mathbf{3,07Ah}$$

Jelikož byla hodnota svorkového napětí během procesu vybíjení zaznamenávána ve 20 sekundových intervalech, bylo celkem zaznamenáno několik tisíc vzorků v závislosti na měřeném akumulátoru. Proto je v tabulkách 7-8 zobrazen pouze výběr hodnot z každého měření. Vybíjecí charakteristiky jsou však vyneseny ze všech naměřených vzorků. Kompletní soubor naměřených hodnot ve formátu .xls je na přiloženém CD nosiči. Záznam dat byl proveden USB voltmetrem **MASTECH-MS8250**.

Tabulka 8 Výběr hodnot z vybíjecí charakteristiky akumulátoru Orema UN8-12

t (h)	U_{bat} (V)
0	12,36
0,5	12,23
1	12,14
1,5	12,05
2	11,96
2,5	11,85
3	11,72
3,5	11,61
4	11,52
4,5	11,42
5	11,3
5,5	11,13
6	10,78
6,1	10,59
6,15	10,5

10. Závěr

V úvodní části celé práce jsou popsány nejpoužívanější typy akumulátoru, zejména pak podle toho, jakou jsou vyrobeny technologií, protože na tom závisí jejich stěžejní vlastnost, což je kapacita. Stručně byla popsána jejich konstrukce a rozebrány chemické procesy, které se během vybíjení uvnitř odehrávají. U většiny je také zobrazena vybíjecí křivka, která, v závislosti na vybíjecím proudu, s kapacitou úzce souvisí. Je zde také popsán postup při měření celkové kapacity.

V další části je podrobně popsán postup, jakým bylo sestrojeno požadované zařízení pro měření kapacity. Jelikož bylo základním požadavkem mít k dispozici pro vybíjení více proudových rozsahů, bylo potřeba navrhnout řízení proudového zdroje pomocí mikrokontroléru. Jelikož je D/A převodník pro tuto konstrukci nevýhodný (větší složitost zapojení i vyšší náklady), bylo zvoleno řízení proudového zdroje pomocí pulzně šířkové modulace. Po vyfiltrování pak dostáváme napětí úměrné střídě modulovaného signálu. Bylo by vhodnější použít filtr jiného typu, než se v této konstrukci vyskytuje, neboť lze na obr. 18 vidět, že při náběžné i sestupné hraně PWM signálu dochází k rozkmitání průběhu proudu tlumenými kmity. Při vyšších hodnotách vybíjecího proudu (nad 5A) pak již dochází k tomu, že kmity nejsou tlumené, ale trvalé. Rozkmit je tím větší, čím vyšší vybíjecí proud je nastaven (při nastaveném proudu 10A je rozkmit $\pm 2A$). Střední hodnota vybíjecího proudu je však vždy správná.

Při návrhu byl využit multiplexovaný displej, který je z mikroprocesoru ovládán pouze osmi piny. To je obvodově značně jednodušší než při připojení každé číslice k procesoru zvlášť. Číslice se však neovládají přímo. Je použit dekodér z binárního čísla na sedmisegmentový displej. Alternativou k tomuto dekodéru by pak bylo připojení každého ze sedmi segmentů k jednomu pinu mikroprocesoru, a v programu mikrokontroléru nadefinovat tabulku, ve které by byla konfigurace brány mikrokontroléru pro zobrazování požadované číslice. Výhodou tohoto by byla možnost nadefinovat si své vlastní zobrazitelné znaky. Použitý dekodér 74LS47 umí totiž dekódovat pouze číslovky 0-9 a dalších 5 speciálních znaků, které jsou však většinou nepoužitelné, neboť se nepodobají žádným číslovkám ani písmenům.

Přístroj umožňuje nastavení proudu v rozmezí 0,5-10A při kroku 0,5A. Nabízí tedy celkem 20 možných hodnot nastaveného proudu. I toto se však během měření kapacit akumulátorů jeví jako nedostatečné, neboť např. při měření akumulátoru o kapacitě 8Ah je pro změření kapacity C_{20} potřebný vybíjecí proud 0,4A, který ovšem přístroj nenabízí. Stejný problém byl při měření akumulátoru o jmenovité kapacitě 17Ah, neboť k určení kapacity C_{20} je potřebný vybíjecí proud 0,8A. Je tedy nutno volit vždy nejbližší nastavitelnou hodnotu, což vnáší do měření jistou chybu. U akumulátoru Orema UN17-12 byla měřena kapacita jak C_{20} (nastavený vybíjecí proud 1A), tak i kapacita C_5 (nastavený vybíjecí proud 3,5A). Výsledky dle očekávání dopadly tak, že kapacita C_5 je skoro o 3Ah nižší oproti C_{20} . Na vybíjecí křivce z obr. 19 je vidět, že v momentě, kdy došlo k ukončení vybíjecího procesu (napětí dosáhlo 10,5V), začalo napětí prudce narůstat. To je způsobeno paměťovým efektem daného typem akumulátoru.

11. Použitá literatura

- [1] CENEK, Miroslav. *Akumulátory od principu k praxi*. Praha: FCC Public, 2003. ISBN 80-86534-03-0.
- [2] ARENDÁŠ, Miroslav a Milan RUČKA. *Nabíječky a nabíjení*. 3. upr. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 1999. ISBN 80-86056-61-9.
- [3] MAREK, Jiří a Luděk STEHLÍK. *Hermetické akumulátory v praxi*. Praha: IN-EL, 2004. Elektro (IN-EL). ISBN 80-86230-34-1.
- [4] KOZUMPLÍK, Josef. *Olověné akumulátory*. Praha: NADAS, 1975.
- [5] KOZUMPLÍK, Josef. *Akumulátory motorových vozidel*. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1985. Knižnice motoristů.
- [6] *Nikl-metalhydridový akumulátor* [online]. , 1 [cit. 2017-04-13]. Dostupné z: <http://www.bateria.cz/stranky3/zabava--pouceni/jak-to-funguje-/niklmetalhydridovy-akumulator-nimh.htm>
- [7] *Lithium-polymerový akumulátor* [online]. , 1 [cit. 2017-04-13]. Dostupné z: <http://www.bateria.cz/stranky3/zabava--pouceni/jak-to-funguje-/lithium-polymerovy-akumulator-li-pol.htm>
- [8] *74LS47 datasheet (PDF): FAIRCHILD semiconductor* [online]. In: . 1988 [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/51080/FAIRCHILD/74LS47.html>
- [9] *Katalogový list: Vishay IRF540N datasheet* [online]. , 9 [cit. 2017-04-15]. Dostupné z: <http://www.vishay.com/docs/91021/91021.pdf>
- [10] BELZA, Jaroslav. *Regulátor otáček ventilátoru: PC fan controller 4* [online]. 2001, , 1 [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: <http://www.belza.cz/pcfان/fan4.htm>
- [11] *Orema battery UN17-12* [online]. , 2 [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: <http://www.oremabattery.com/PDF/UN17-12.pdf>

12. Zdroje obrázků

- [12] Konstrukce olověného akumulátoru. In: *Projekty Gymnázia Olomouc* [obrázek online]. [cit. 2017-04-13]. Dostupné z: <http://projektysipvz.gytool.cz/projektysipvz/Obrazky/Fyzika/Auto/RezAkumulatorem.jpg>
- [13] Nikl-metalhydridový akumulátor. In: *Bateria Slaný CZ s.r.o.* [obrázek online]. [cit. 2017-04-13]. Dostupné z: http://www.bateria.cz/editor/image/stranky3/Image/nicd_nimh.jpg
- [14] Multiplexní displej řízený časovačem 0. In: [Http://at2000.wz.cz](http://at2000.wz.cz) [online]. [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: http://at2000.wz.cz/ME4_CT/Images/multiplex_2.jpg
- [15] Interfacing ADC084 with AT89C51: ADC chip. In: *Applied electronics engineering* [online]. [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://1.bp.blogspot.com/-nCUNVdb2xzA/VeELwIEE5MI/AAAAAAAAAWM0/X89nLIEzX4/s1600/ad08044.png>

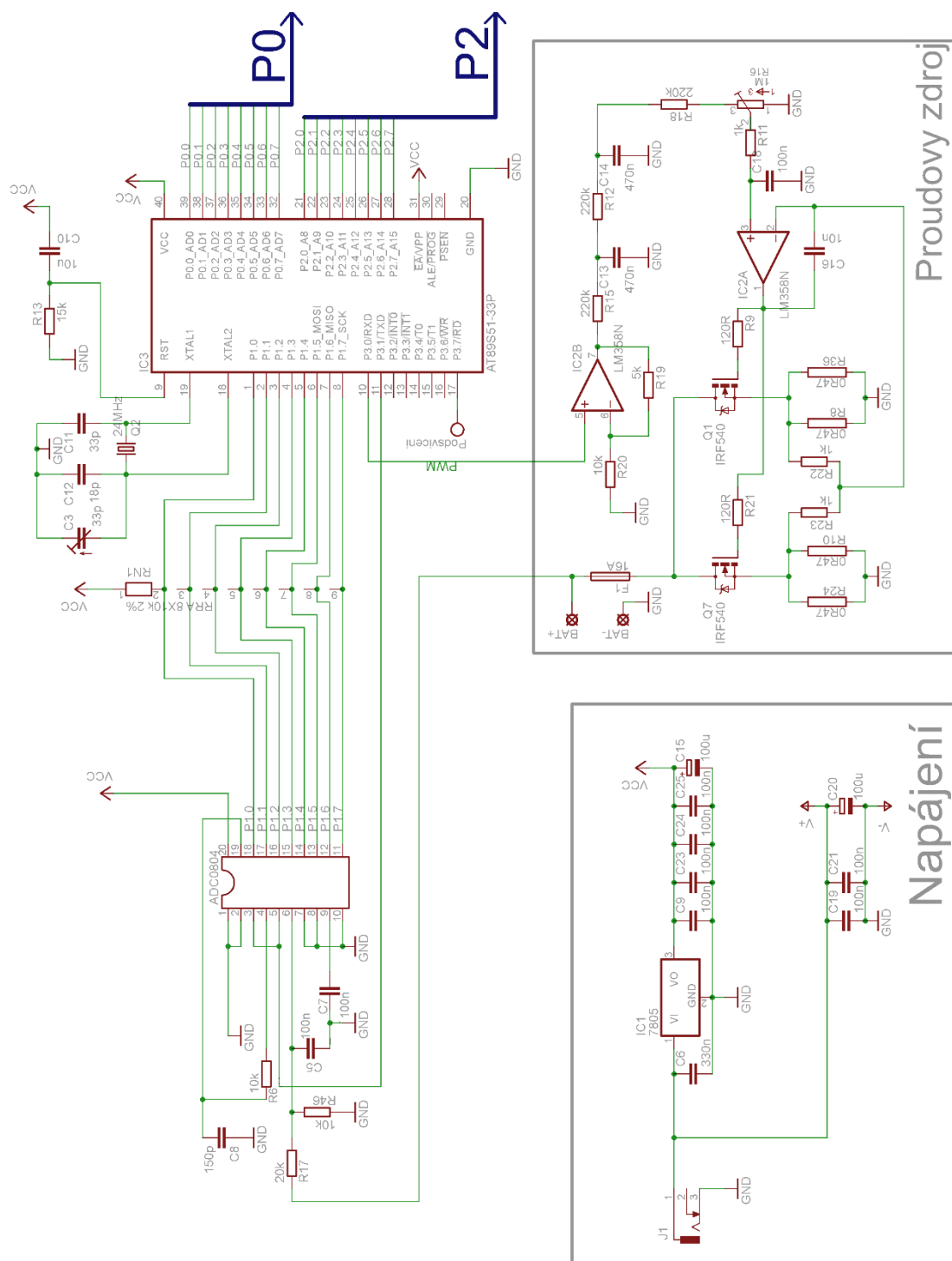
13. Přílohy

Seznam příloh

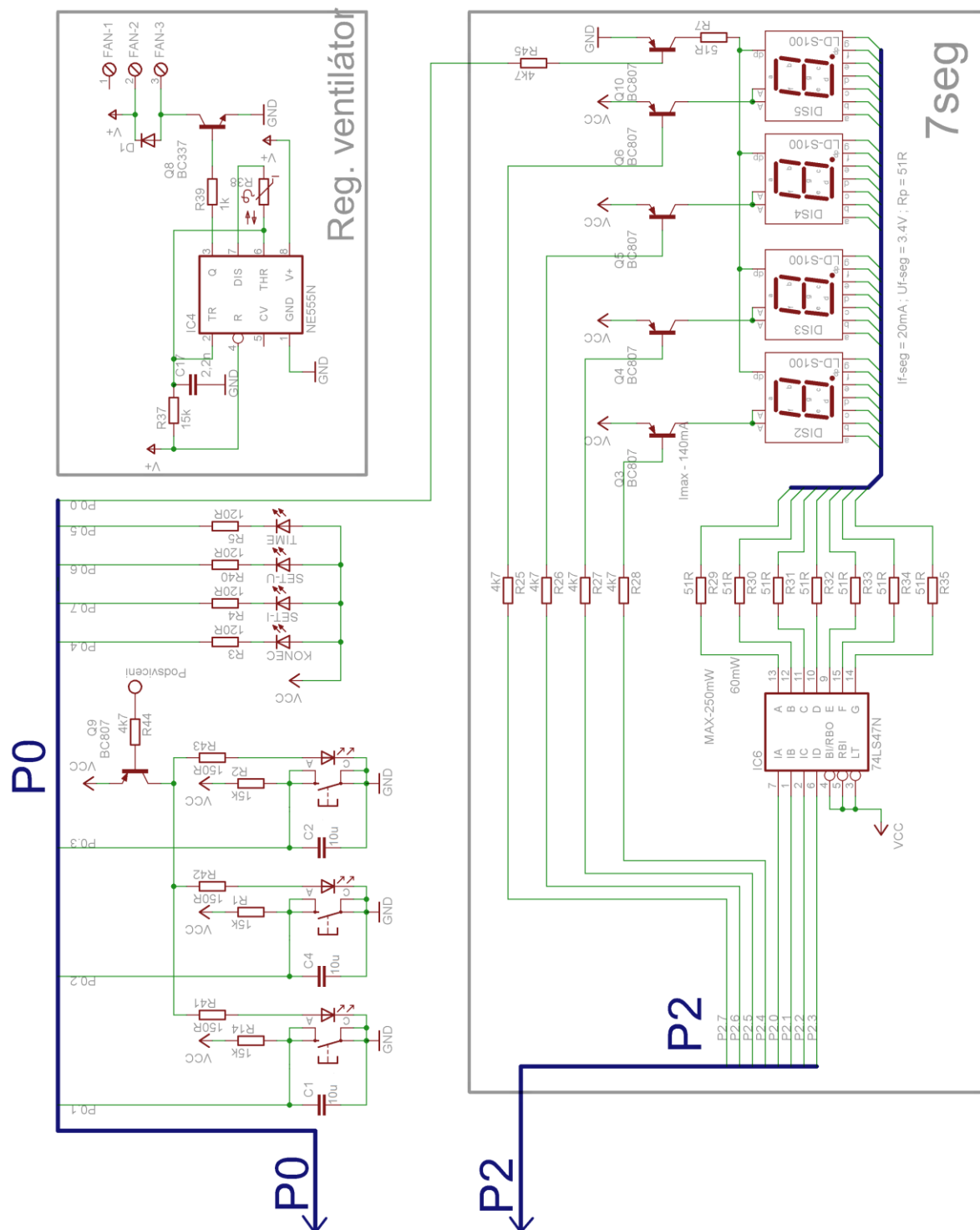
Příloha 1 Celkové schéma zapojení – část A	34
Příloha 2 Celkové schéma zapojení – část B	35
Příloha 3 Obrazec plošného spoje pro mikroprocesorovou část (měřítko 1:1)	36
Příloha 4 Osazení plošného spoje pro mikroprocesorovou část	37
Příloha 5 Obrazec plošného spoje pro proudový zdroj (měřítko 1:1)	38
Příloha 6 Osazení plošného spoje pro proudový zdroj	39
Příloha 7 Obrazec plošného spoje pro umístění tlačítek (1:1)	40
Příloha 8 Osazení plošného spoje pro umístění tlačítek	40
Příloha 9 Soupiska použitých součástek	40
Příloha 10 Rozměry a tvar použité krabice	42
Příloha 11 Rozměry pro úpravu čelního plexiskla	42

Obsah CD

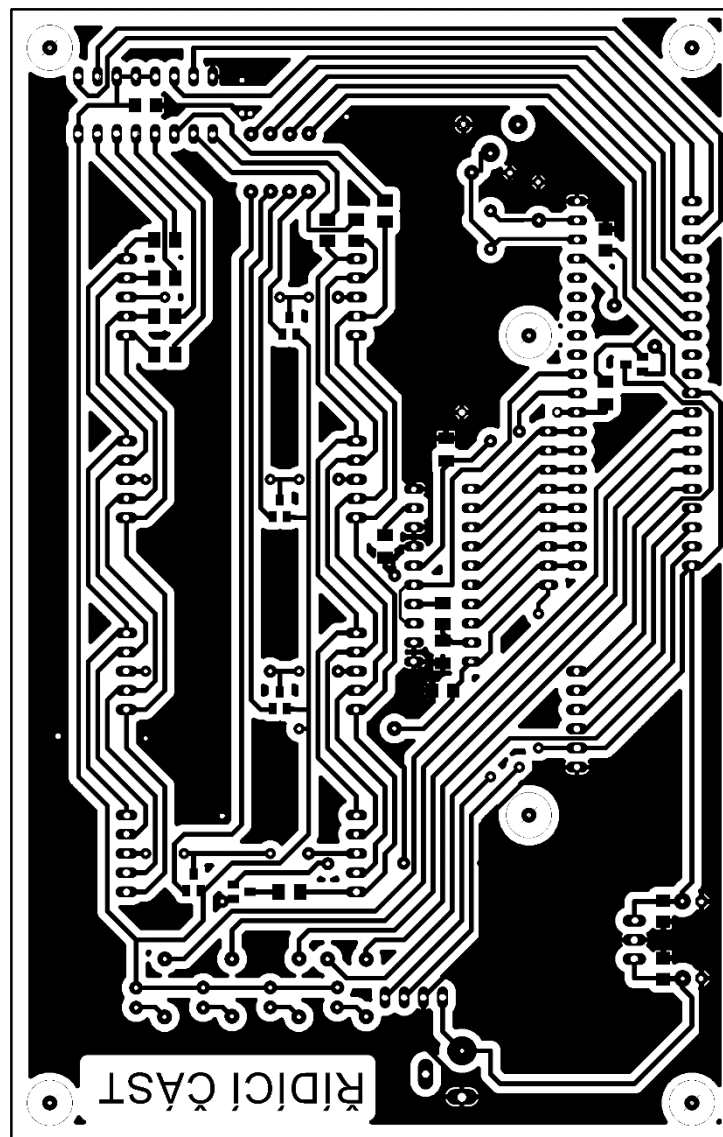
- soubory návrhu plošného spoje (pro program Eagle)
- kompletní zdrojový kód pro mikrokontrolér (soubor aplikace Keil μ Vision)
- naměřená data vybíjecí křivky akumulátoru Orema UN17-12 (sešit Microsoft Excel)
- naměřená data vybíjecí křivky akumulátoru Orema UN08-12 (sešit Microsoft Excel)



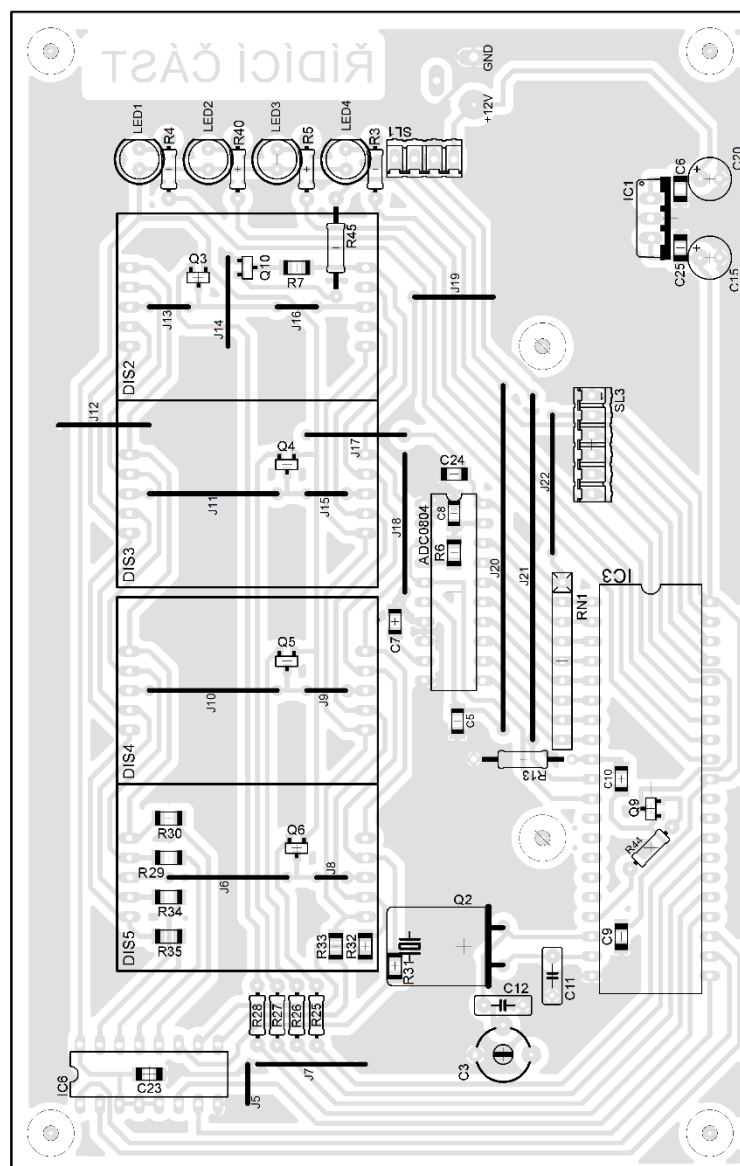
Příloha 1 Celkové schéma zapojení – část A



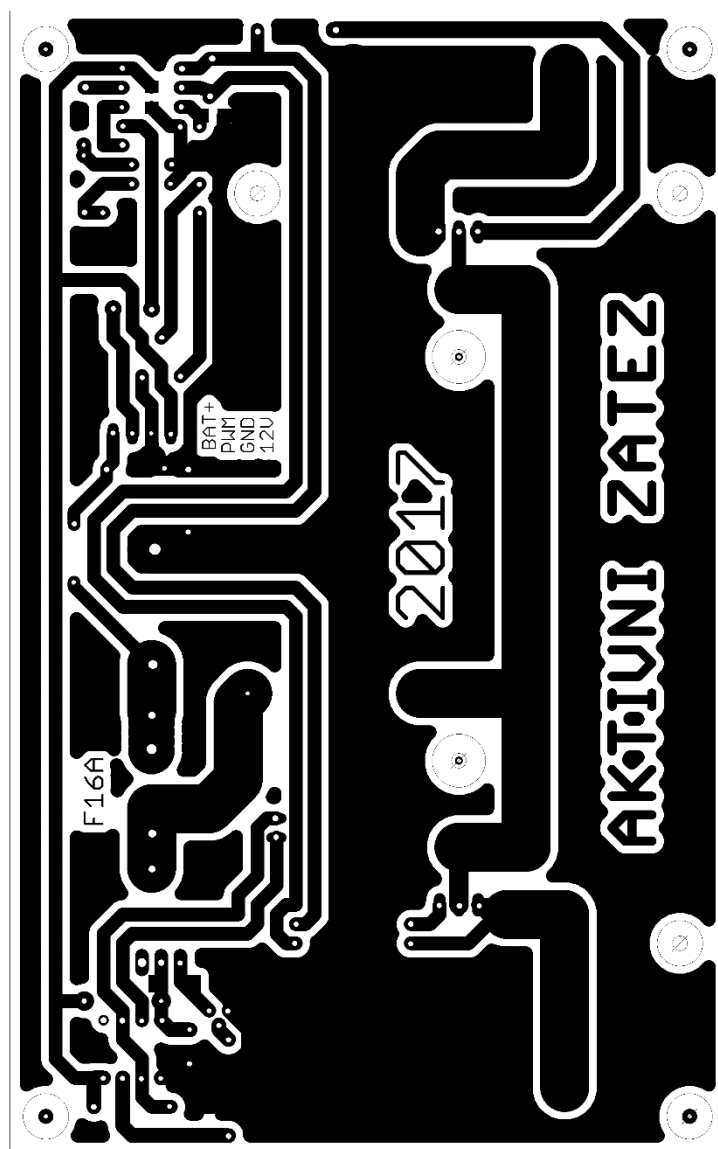
Příloha 2 Celkové schéma zapojení – část B



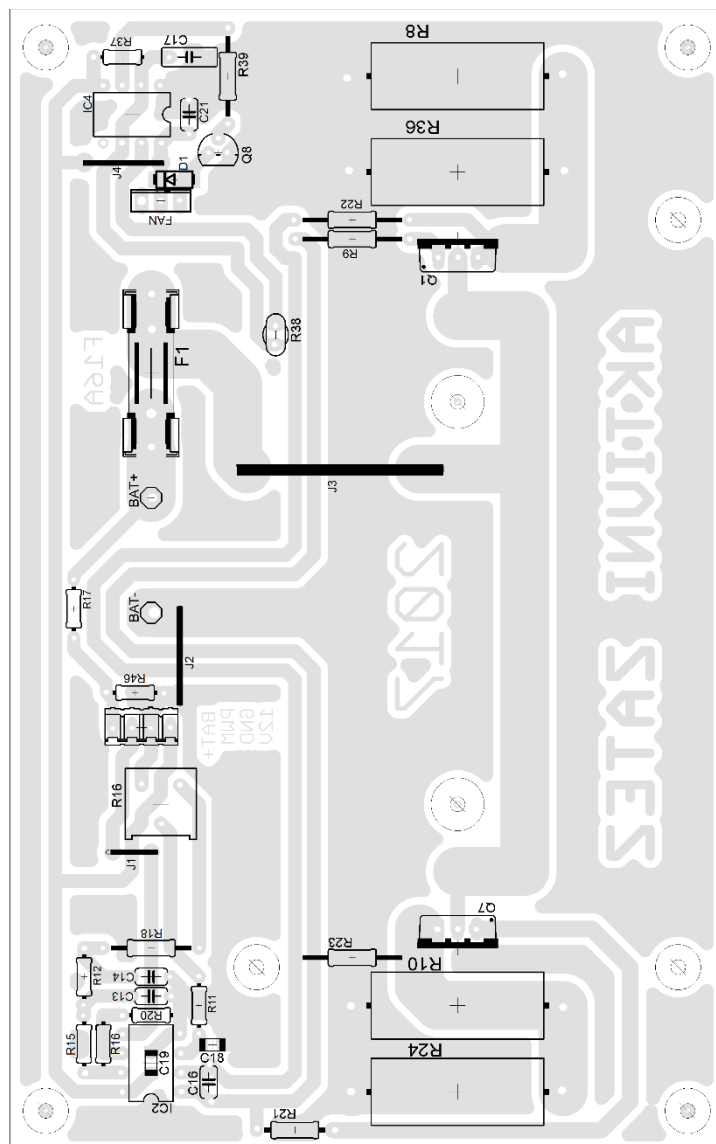
***Příloha 3** Obrazec plošného spoje pro mikroprocesorovou část (měřítko 1:1)*



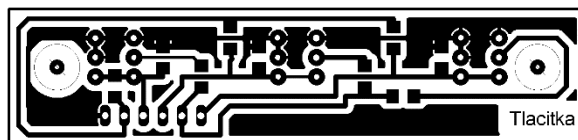
Příloha 4 Osazení plošného spoje pro mikroprocesorovou část



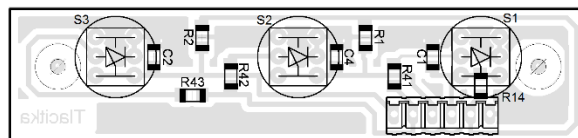
Příloha 5 Obrazec plošného spoje pro proudový zdroj (měřítko 1:1)



***Příloha 6** Osazení plošného spoje pro proudový zdroj*



Příloha 7 Obrazec plošného spoje pro umístění tlačítek (1:1)

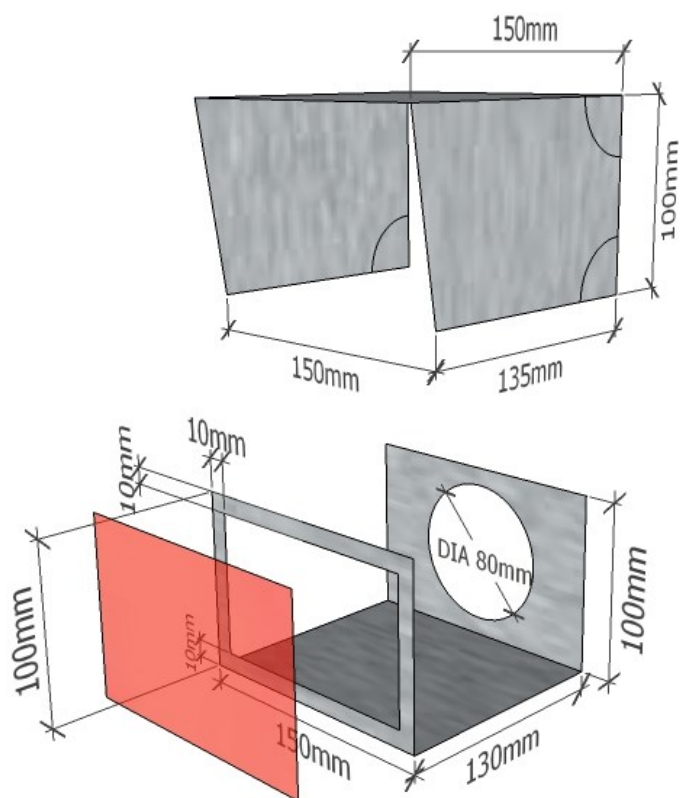


Příloha 8 Osazení plošného spoje pro umístění tlačítek

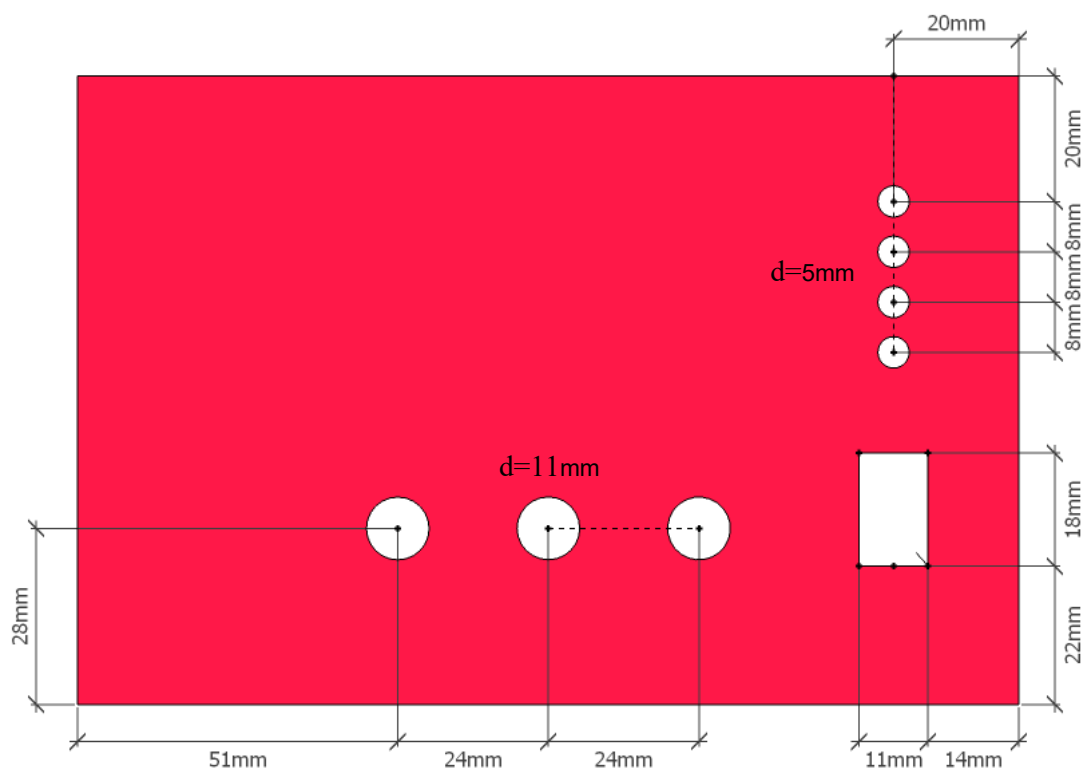
Příloha 9 Soupiska použitých součástek

Označení	hodnota	pouzdro	Označení	Hodnota	Pouzdro
ADC0804		DIL20	R4	120R	0204/7
C1	10u	C1206	R5	120R	0204/7
C2	10u	C1206	R6	10k	M1206
C3	33p	CTRIM808-BC	R7	51R	M1206
C4	10u	C1206	R8	0R47	HPS923
C5	100n	C1206K	R9	120R	0207/15
C6	330n	C1206	R10	0R47	HPS923
C7	100n	C1206K	R11	1k	0204/7
C8	150p	C1206K	R12	220k	0204/7
C9	100n	C1206	R13	15k	0207/12
C10	10u	C1206K	R14	15k	R1206
C11	33p	C050-025X075	R15	220k	0204/7
C12	18p	C050-025X075	R16	1M	3386F
C13	470n	C050-024X044	R17	20k	0204/7
C14	470n	C050-024X044	R18	220k	0207/12
C15	100u	E2	R19	5k	0204/7
C16	10n	C050-024X044	R20	10k	0204/7
C17	2,2n	C-025X075	R21	120R	0207/10
C18	100n	C1206	R22	1k	0207/15
C19	100n	C1206	R23	1k	0207/15
C20	100u	E2	R24	0R47	HPS923
C21	100n	C050-024X044	R25	4k7	0204/7
C23	100n	C1206	R26	4k7	0204/7
C24	100n	C1206	R27	4k7	0204/7

Označení	hodnota	Pouzdro	Označení	Hodnota	Pouzdro
C25	100n	C1206	R28	4k7	0204/7
D1	1N4148	DO214AA	R29	51R	M1206
DIS2	LD-S100	SA10-21	R30	51R	M1206
DIS3	LD-S100	SA10-21	R31	51R	M1206
DIS4	LD-S100	SA10-21	R32	51R	M1206
DIS5	LD-S100	SA10-21	R33	51R	M1206
F1	16A	SHK20L	R34	51R	M1206
IC1	7805	TO220V	R35	51R	M1206
IC2	LM358N	DIL08	R36	0R47	HPS923
IC3	AT89S51-33	DIL40	R37	15k	0204/7
IC4	NE555N	DIL08	R38	10k	P642
IC6	74LS47N	DIL16	R39	1k	0207/12
LED4	red	LED5MM	R40	120R	0204/7
Q1	IRF540	TO220BV	R41	150R	R1206
Q2	24MHz	HC49U-H	R42	150R	R1206
Q3	BC807	SOT23-BEC	R43	150R	R1206
Q4	BC807	SOT23-BEC	R44	4k7	0204/7
Q5	BC807	SOT23-BEC	R45	4k7	0207/12
Q6	BC807	SOT23-BEC	R46	10k	0204/7
Q7	IRF540	TO220BV	RN1	RRA 8X10k	RN-9
Q8	BC337	TO92	S1	PB61412L-04	SWITCH
Q9	BC807	SOT23-BEC	S2	PB61412L-04	SWITCH
Q10	BC807	SOT23-BEC	S3	PB61412L-08	SWITCH
R1	15k	R1206	LED1	red	LED5MM
R2	15k	R1206	LED2	red	LED5MM
R3	120R	0204/7	LED3	red	LED5MM



Příloha 10 Rozměry a tvar použité krabíčky



Příloha 11 Rozměry pro úpravu čelního plexiskla